

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Международный государственный экологический  
институт имени А. Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета



# **САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2023 ГОДА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

## **SAKHAROV READINGS 2023: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY**

**Материалы 23-й международной научной конференции**

18–19 мая 2023 г.  
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях  
Часть 2

Минск  
МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
2023

УДК 504.75(043)  
ББК 20.18  
С22

Материалы конференции изданы при поддержке  
Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований  
и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

**Редколлегия:**

*Батян А. Н.*, доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Головатый С. Е.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Довгулевич Н. Н.*, кандидат филологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Жук Е. Ю.*, кандидат биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Журавков В. В.*, кандидат биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Зафранская М. М.*, доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Киевицкая А. И.*, доктор физико-математических наук, доцент МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Лучина В. Н.*, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Пашинский В. А.*, кандидат технических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Пухтеева И. В.*, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Савастенко Н. А.*, кандидат физико-математических наук, доцент МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Цыбулько Н. Н.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;  
*Шахаб С. Н.*, кандидат химических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

**Под общей редакцией:**

доктора биологических наук, доцента *О. И. Родькина*;  
кандидата технических наук, доцента *М. Г. Герменчук*

**Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2023 : environmental problems of the XXI century : материалы 23-й Международной научной конференции, 18–19 мая 2023 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. /** Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батян [и др.] ; под ред. д-ра б. н., доцента О. И. Родькина, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – Ч. 2. – 384 с.  
ISBN 978-985-880-341-4.

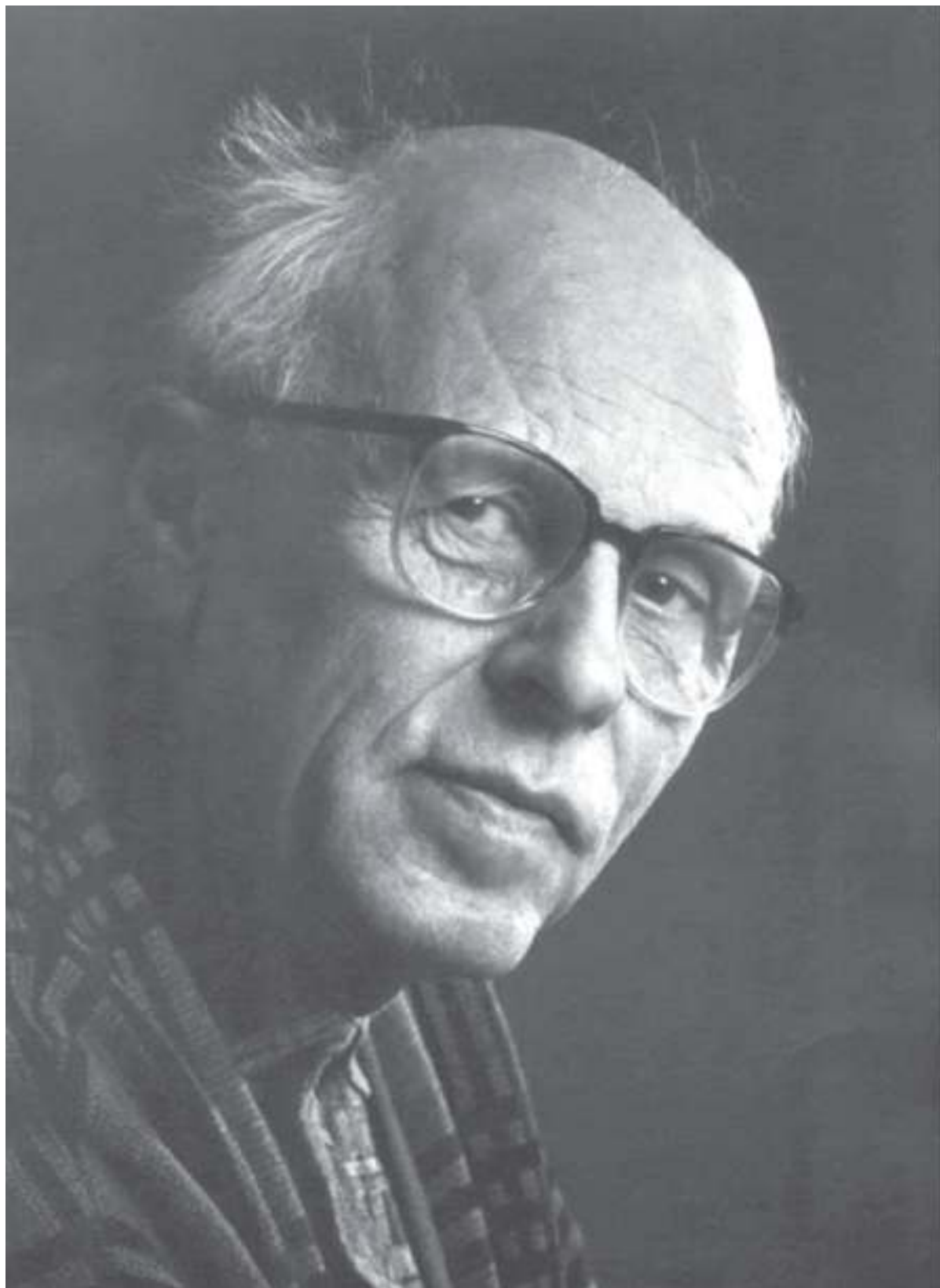
В сборник включены материалы докладов по вопросам образования в интересах устойчивого развития, социально-экономическим проблемам современности, по медицинской экологии и биоэкологии, экологической химии и биохимии, биофизики и молекулярной биологии. Рассматриваются актуальные аспекты радиобиологии, радиоэкологии и радиационной безопасности, информационных систем и технологий в экологии и здравоохранении, решения региональных экологических задач. Особое внимание уделено экологическому мониторингу и менеджменту, возобновляемым источникам энергии и энергосбережению.

Публикации рассчитаны на широкий круг специалистов в области экологии и смежных наук, преподавателей, аспирантов и студентов высших и средних учреждений образования.

УДК: 504.75(043)  
ББК 20.18

ISBN 978-985-880-341-4 (ч. 2)  
ISBN 978-985-880-339-1 (общ.)

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2023



**АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ САХАРОВ**  
(21 мая 1921–14 декабря 1989 г.)



Уважаемые читатели!

Настоящий сборник содержит тезисы докладов участников 23-й Международной конференции «Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века». Каждый год «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета в 3-й декаде мая проводит эту конференцию, которая является, что крайне важно подчеркнуть, не только национальным, но и интернациональным форумом для обсуждения злободневных экологических проблем не только Республики Беларусь, но и стран как ближнего, так и дальнего зарубежья. Действительно, при тех глобальных экологических угрозах, которые характеризуют условия существования современного человеческого сообщества, для противодействия этим угрозам жизненно необходима кооперация всех заинтересованных ученых и экспертов. В конференции 2023 г. приняли участие, кроме отечественных авторов, докладчики из России, Армении, Казахстана, Сербии, Узбекистана, Кыргызстана, Таджикистана, Турции, Молдовы.

Как и в прошлые годы, программа конференции содержала обширный спектр актуальных экологических проблем в областях совершенствования системы экологического образования в интересах устойчивого развития; радиационной биологии и радиоэкологии; медицинской экологии и эпидемиологии, медицинской физики; экологической химии и биохимии, биофизики и молекулярная биологии; реабилитации экосистем и экологического мониторинга; промышленной и аграрной экологии, мониторинга, управления отходами; ядерных технологий и радиационной безопасности и защиты; энергоэффективных технологий и энергетического менеджмента; информационных систем и технологий в оценке и управлении качеством окружающей среды; философских и социально-экологических проблем современности.

Организаторы конференции выражают признательность Белорусскому государственному университету, Министерству образования Республики Беларусь, Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Департаменту по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, унитарному предприятию «Кока-Кола Бевриджиз Белоруссия» за ту моральную и материальную поддержку, без которой невозможно проведение международной конференции «Сахаровские чтения».

Хочу пригласить всех, кто не равнодушен к решению проблем экологической безопасности как важнейшего фактора, определяющего возможность устойчивого развития человеческого сообщества в XXI веке, участвовать в будущем в международной конференции «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века».

Директор учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор биологических наук

О.И. Родкин

**ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ,  
МОНИТОРИНГ, УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ**

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ САДКОВОГО КАРПОВОГО ХОЗЯЙСТВА

## MATHEMATICAL MODEL OF CAGE FARM

**О. Н. Федосеев, С. В. Новичков**  
**O. N. Fedoseev, S. V. Novichkov**

*Российская федерация. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*  
*Russian Federation. Penza State University of Architecture and Construction*  
*OlegF1962@mail.ru*

Развитие рынка продукции аквакультуры может оказывать значимое влияние на наши национальные приоритеты, в первую очередь, формируя тренд здорового питания и долголетия населения России. Ожидаемый рост спроса на рыбу может быть удовлетворен за счет аквакультурного производства с учетом большого количества внутренних водоемов России. Представлена математическая модель регрессионного типа, описывающая зависимость набора массы садкового карпа от кормления, температуры и продолжительности выращивания, позволяющая прогнозировать эффективность садкового хозяйства.

The development of the aquaculture products market can have a significant impact on our national priorities, first of all, forming a trend of healthy nutrition and longevity of the Russian population. The expected growth in demand for fish can be met by aquaculture production, taking into account the large number of inland reservoirs in Russia. A regression-type mathematical model is presented that describes the dependence of the weight gain of the cage carp on the feeding, the temperature and the duration of cultivation, which allows predicting the efficiency of the cage farm.

*Ключевые слова:* аквакультура, садковое хозяйство, карп, математическая модель.

*Keywords:* aquaculture, cage farming, carp, mathematical model.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-6-9>

Рыба, как производимая в процессе рыбоводства, так и вылавливаемая из морских и пресноводных водоемов, представляет собой источник животного белка и необходимых питательных веществ. Высокие питательные качества рыбы и безусловная польза для здоровья получают все большее признание во всем мире. Кроме того, рыба является одним из наиболее эффективных преобразователей корма в высококачественную и экологически безопасную еду. Сегодняшний и будущий вклад рыбоводства и аквакультуры в продовольственную безопасность и питание зависит от взаимодействия всех сторон, связанных с производством, реализацией, переработкой, транспортировкой рыбы, производством кормов и др., что связано с развитием регионов, экологической ситуацией, политикой государства.

В плане импортозамещения аквакультура в России в последнее десятилетие стабильно составляет не более 5–6 % от всего объема добываемой и производимой рыбы. Единственный сегмент, где России за пять лет удалось реально подвинуть зарубежных конкурентов, главным образом норвежцев, – это выращивание семги и форели. Что касается выращивания теплолюбивых рыб, в России это традиционно карп, то здесь ситуация совсем не оптимистичная.

Несмотря на то, что значимость регулярного потребления рыбы признают 80 % опрошенных потребителей, еженедельно едят рыбу только 37% [1]. Неудовлетворенный спрос, связанный в основном с дороговизной рыбы, что создает как вызовы, так и возможности для развития рыбной отрасли. Слабый спрос на рыбу связан и с установившейся в сознании со времен СССР установкой – «мясо в питании лучше рыбы», хотя по критерию состава белка и потребительским качествам эта установка абсолютно не верна. Образ высокой стоимости рыбы на рынке в сознании людей и ее быстрой перевариваемости человеком приводит к тому, что продукция рыбоводства не востребована на рынке, теряет привлекательность. Особенно это сказывается на живой рыбе – самом ценном и нежном товаре. Ситуация изменится, когда в обществе будет сформирован тренд на здоровое и безопасное питание.

За три последних десятилетия объемы производства рыбоводства выросли в 12 раз, показав среднегодовой рост свыше 8 %, что делает его самым быстрорастущим сектором производства продуктов питания. Количество внутренних водоемов в России огромно, но при этом отмечается высокая стоимость аквакультурной рыбы, что сдерживает рост рыбоводства. [2].

**Материалы и методы.** Математическая модель была разработана на основе садкового нагульного карпового хозяйства средней мощности. Использовали садки производителя «Иван-осетр» в виде садковой линии на 15 садков. Делевый короб с размерами 5×5×2,5 м [3].

Для посадки использовали годовика карпа массой 30 г с плотностью посадки 150 шт./м<sup>3</sup>. Выживаемость двухлеток карпа принималась 93 %.

Средняя температура воды взята по материалам гидрологических наблюдений на р. Суре в 2018-2022 гг. Расчет темпов роста карпа производился по методу Дьюела.

Характеристика продукционного корма представлена в таблице 1.

Суточный рацион кормления рыбы, с учетом массы рыбы, представлен в таблице 2.

Таблица 1

*Продукционный корм для карпа (Aller)*

|                      | 2 мм |     |     | 3 мм |     |     | 4,5 мм |     |     | 6 мм |     |     |
|----------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|--------|-----|-----|------|-----|-----|
| Кормовой коэффициент | 1,2  | 1,3 | 1,4 | 1,4  | 1,5 | 1,6 | 1,5    | 1,6 | 1,7 | 1,6  | 1,7 | 1,8 |

Таблица 2

*Суточный рацион кормления, % от массы рыбы*

| Рыба (гр) | мм  | Температура воды в (°C) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           |     | 12                      | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   |
| 10–50     | 2   | 1,13                    | 1,88 | 3,02 | 4,52 | 5,65 | 6,79 | 7,54 | 6,79 | 6,03 |
| 50–100    | 3   | 0,94                    | 1,57 | 2,51 | 3,77 | 4,71 | 5,65 | 6,28 | 5,65 | 5,03 |
| 100–300   | 4,5 | 0,75                    | 1,26 | 2,01 | 3,02 | 3,77 | 4,52 | 5,03 | 4,52 | 4,02 |
| 300–750   | 6   | 0,6                     | 1,01 | 1,61 | 2,41 | 3,02 | 3,62 | 4,02 | 3,62 | 3,22 |

**Результаты и обсуждение.** Для разработки математической модели зависимости темпа роста карпа от периода выращивания, использовали следующие расчетные данные.

1. Расчет массы выращенного карпа

Для этого рассчитываем объем 1 садка с учетом ширины (5 м × 5 м) и глубины (2 м):  $5 \times 5 \times 2 = 50 \text{ м}^3$

Общий объем воды в садковой линии (15 садков в линии) составит  $50 \times 15 = 750 \text{ м}^3$

Используем количество посадочного материала (150 шт. годовика карпа на 1 линию):  $750 \times 150 = 112500$  шт.

Масса посадочного материала  $= 112500 \times 30 / 1000 = 3375$  кг.

Мощность хозяйства с учетом выживаемости  $= 112500 \times 0,93 = 104625$  шт.

Масса выращенной рыбы за сезон выращивания, снимаемая с 1 линии, составила  $104625 \times 0,6 = 62775$  кг = 63 т.

2. Разработка математической модели зависимости массы карпа от периода выращивания карпа

Вегетационный период с температурами воды выше 13 °C.

2.1 Время набора массы от 30 до 50 г на кормах 2 мм

$$T = \frac{100 \cdot (B - b)}{M_{cp} \cdot N_{сут} / KK}, \quad (1)$$

где:  $T$  – время в сутках;  $B$  и  $b$  – начальная и конечная масса в гр. 30 и 50;  $M_{cp}$  – средняя масса за период, 40 гр.;  $N_{сут}$  – суточная норма кормления при температуре в мае 13 гр.  $C = (1,13 + 1,88) / 2 = 1,505$  %;  $KK$  – кормовой коэффициент 1,3.

$T1 = 100 \cdot (50 - 30) / (40 \cdot 1,505 / 1,3) = 43,2$  сут. (6 нед.)

2.2 Время набора массы от 50 до 100 г на кормах 3 мм

$M_{cp}$  – средняя масса за период, 75 гр.

$N_{сут}$  – суточная норма кормления при температуре в июне 18,5 гр.  $C = (4,52 + 5,65) / 2 = 5,085$  %;

$KK$  – кормовой коэффициент 1,5.

$T2 = 100 \cdot (100 - 50) / (75 \cdot 5,085 / 1,5) = 19,7$  сут. (3 нед.)

2.3 Время набора массы от 100 до 300 г на кормах 4,5 мм

$M_{cp}$  – средняя масса за период, 200 гр.

$N_{сут}$  – суточная норма кормления при температуре в июле 22 гр.  $C = 4,52$  %;

$KK$  – кормовой коэффициент 1,6.

$T3 = 100 \cdot (300 - 100) / (200 \cdot 4,52 / 1,6) = 35,4$  сут. (5 нед.)

2.4 Время набора массы от 300 до 600 г на кормах 6 мм

$M_{cp}$  – средняя масса за период, 450 гр.

$N_{сут}$  – суточная норма кормления при температуре в августе 18 гр.  $C = 2,4$  %;

$KK$  – кормовой коэффициент 1,7.

$T4 = 100 \cdot (600 - 300) / (450 \cdot 2,41 / 1,7) = 47$  сут. (7 недель)

Всего  $= 43,2 + 19,7 + 35,4 + 47 = 145$  сут. = 21 недели

Период выращивания карпа составил с середины мая до начало октября, рыба за этот инкубационный период должна достигнуть средней массы 600 г. Темпы роста карпа представлены на рисунке 1.

Зависимость прироста массы карпа от периода выращивания представлена уравнением регрессии, имеющим следующий вид



$$Y = 1,4334x^2 - 2,1779x + 21,771. \quad (2)$$

График зависимости, представленный на рис. 1, позволяет отметить период адаптации годовиков карпа, к факторам окружающей среды, составляющий до 6 недель (40-45 дней). Что должно быть учтено при определении реальных сроков выращивания и температурного режима воды.

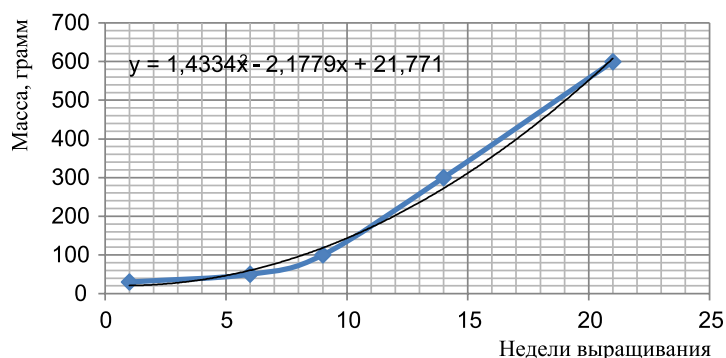


Рисунок 1 – Темпы роста карпа

3. Проверка плотности посадки карпа по потреблению кислорода рыбой при расположении садков перпендикулярно берегу в 2 ряда.

Уравнение баланса масс кислорода [4]

$$0,9 \cdot (O_2'' - O_2') \cdot n \cdot V = O_{2сп} \cdot P, \quad (3)$$

где:  $O_2''$  и  $O_2'$  – содержание растворенного кислорода на в токе [3] и вы токе (5 мг/л);  $V$  – рабочий объем спаренного садка 100000 л;  $n$  – смена воды в садках (минимальная кратность водообмена) при скорости течения 0,01 м/с и площади сечения перпендикулярно току воды расход воды  $Q = 0,01 \cdot (5 \cdot 2) = 0,1$  м<sup>3</sup>/с = 0,1 \* 60 \* 60 = 360 м<sup>3</sup>/час.

Кратность водообмена в 2 садках  $n = 360/100 = 3,6$  раз в час;  $O_{2сп}$  – специфическое потребление кислорода карпом [5];  $P$  – возможная общая масса рыбы в двух садках, кг

Следовательно, масса рыбы в 2 садках может быть рассчитана по формуле

$$P = \frac{0,9 \cdot (O_2'' - O_2') \cdot n \cdot V}{O_{2сп}}. \quad (4)$$

Результаты расчетов (табл. 3) показывают, что в критические недели плотность посадки не превышает возможности снабжения кислородом рыбы.

Таблица 3

Расчет кислородной обеспеченности для критических недель

| Недели | t воды, гр. С | $O_2''$ | Инд. масса, г | $O_{2сп}$ | Возможная масса рыбы в 2 садках, кг | Возможная масса рыбы в 1 садке, кг | Расчетная масса в 1 садке, кг | Доля от возможной посадки |
|--------|---------------|---------|---------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 14.    | 19            | 9,35    | 272           | 94        | 14994                               | 7497                               | 1945                          | 0,26                      |
| 15.    | 18            | 9,54    | 312           | 93        | 15817                               | 7908                               | 2223                          | 0,28                      |
| 16.    | 17            | 9,74    | 354           | 86        | 17858                               | 8929                               | 2513                          | 0,28                      |
| 17.    | 16            | 9,95    | 399           | 70        | 22911                               | 11456                              | 2823                          | 0,25                      |

4. Расчет рациона и количества корма проводился с учетом равномерной смертности, численности посадочного материала 112500 шт., конечной численности 104625 шт. (табл. 4).

Таблица 4

Таблица расчета количества корма, суточной и разовой дачи

| Недели | Масса общ., кг | Продукция, кг | Кормовой коэффициент | Корм, кг | Суточная дача, кг | Кол-во кормлений в сут. | Разовая дача, кг |
|--------|----------------|---------------|----------------------|----------|-------------------|-------------------------|------------------|
| 0      | 3375           |               |                      |          |                   |                         |                  |
| 1      | 3420           | 45            | 1,3                  | 58       | 8                 | 4                       | 0,1              |
| 2      | 3464           | 44            | 1,3                  | 58       | 8                 | 4                       | 0,1              |
| 3      | 3675           | 211           | 1,3                  | 274      | 39                | 4                       | 0,7              |
| 4      | 3996           | 321           | 1,3                  | 417      | 60                | 4                       | 1,0              |
| 5      | 5199           | 1203          | 1,3                  | 1564     | 223               | 4                       | 3,7              |



|       |       |      |     |       |      |   |      |
|-------|-------|------|-----|-------|------|---|------|
| 6     | 6615  | 1416 | 1,3 | 1840  | 263  | 4 | 4,4  |
| 7     | 8460  | 1845 | 1,5 | 2768  | 395  | 4 | 6,6  |
| 8     | 10512 | 2052 | 1,5 | 3077  | 440  | 4 | 7,3  |
| 9     | 12877 | 2365 | 1,5 | 3547  | 507  | 4 | 8,5  |
| 10    | 15551 | 2675 | 1,6 | 4279  | 611  | 4 | 10,2 |
| 11    | 18532 | 2981 | 1,6 | 4769  | 681  | 4 | 11,4 |
| 12    | 21816 | 3284 | 1,6 | 5254  | 751  | 4 | 12,5 |
| 13    | 25400 | 3584 | 1,6 | 5734  | 819  | 4 | 13,7 |
| 14    | 29172 | 3773 | 1,6 | 6036  | 862  | 4 | 14,4 |
| 15    | 33345 | 4173 | 1,7 | 7094  | 1013 | 4 | 16,9 |
| 16    | 37701 | 4356 | 1,7 | 7405  | 1058 | 4 | 17,6 |
| 17    | 42344 | 4643 | 1,7 | 7893  | 1128 | 4 | 18,8 |
| 18    | 47270 | 4926 | 1,7 | 8375  | 1196 | 4 | 19,9 |
| 19    | 52477 | 5207 | 1,7 | 8851  | 1264 | 4 | 21,1 |
| 20    | 57960 | 5483 | 1,7 | 9322  | 1332 | 4 | 22,2 |
| 21    | 62775 | 4815 | 1,7 | 8186  | 1169 | 4 | 19,5 |
| Всего |       |      |     | 96802 |      |   |      |

**Заключение.** Ресурсов ихтиофауны Мирового океана не так много, как кажется, и увеличение вылова без грамотного воспроизводства скоро будет невозможно. На это накладываются климатические изменения, которые вероятно приведут к изменению пространственного распределения стадий жизненного цикла многих видов промысловых рыб и, безусловно, скажутся на эффективности воспроизводства рыб и объемах их вылова. Поэтому интенсивное рыбоводство будет актуальным для отрасли.

Программа импортозамещения в области аквакультуры, которую приняли в Совете Федерации, затрагивает в основном форелеводство, другим же направлениям уделяется мало внимания.

В Пензенской области по гранту Агростартапа 2022 г. предусмотрено субсидирование рыбоводства в области приобретения посадочного материала, но не распространяется на кормовую базу, которая является более приоритетной. Выращивание карпа в условиях садкового хозяйства, размещенного на внутренних водоемах Пензенской области (как природных, так и искусственных), позволит улучшить качество и безопасность питания жителей области.

Предлагаемая математическая модель позволяет быстро определить выход карпа по массе и просчитать рентабельность садкового хозяйства.

В отличие от других пород рыб карп может потреблять корма с относительно небольшим содержанием животного белка. Налаживание производства качественных кормов в Пензенской области и выделение грантов на корма может значительно повысить рентабельность садкового карпового хозяйства и привлекательность для малого бизнеса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Устойчивое рыболовство и аквакультура для обеспечения продовольственной безопасности и питания. Доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания. [http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/salmon/Устойчивое рыболовство и аквакультура.pdf](http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/salmon/Устойчивое_рыболовство_и_аквакультура.pdf) (дата обращения 18.12.2022).
2. Садковое рыбоводство / С.Н. Александров. – М.: АСТ. – 2005. – 270 с.
3. Электронный ресурс: <https://sadok-ponton.ru/kontakty/about-company> (дата обращения 18.12.2022)
4. Losordo T. Westers H. Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management. Developments in Aquaculture and Fisheries Sciences. 1994. 27: 9–60.
5. Казаков В.В. Содержание растворенного кислорода в воде. <https://pandia.ru/text/80/154/36395.php> (дата обращения 15.03.2022).

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ ДРЕВОСТОЯ НА ТЕРРИТОРИИ ПГУАС

## DETERMINATION OF THE AMOUNT OF CARBON IN THE BIOMASS OF A STAND ON THE TERRITORY OF PSUAC

**Ю. А. Правдина, Л. М. Хурнова**  
**Yu. Pravdina, L. Hurnova**

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства  
г. Пенза, Россия  
ie@pguas.ru  
Penza State University of Architecture and Construction  
Penza, Russia*

В последние десятилетия в атмосфере все больше и больше увеличивается концентрация углекислого газа. Это происходит оттого, что с каждым годом увеличиваются объемы сжигания ископаемого топлива и древесины. При этом увеличивается температура атмосферного воздуха. Это явление получило название парникового эффекта. Результаты научных исследований подтверждают, что парниковый эффект является глобальной экологической проблемой, основной причиной которого признана человеческая деятельность [2]. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью накопления данных о потенциале различных природных резервуаров. Цель данной работы заключается в количественной оценке поглощения углерода углекислого газа древостоем на территории ПГУАС.

In recent decades, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere has been increasing more and more. This is due to the fact that the volumes of burning of fossil fuels and wood are increasing every year. At the same time, the temperature of the atmospheric air increases. This phenomenon is called the greenhouse effect. The results of scientific research confirm that the greenhouse effect is a global environmental problem, the main cause of which is recognized as human activity [2]. The relevance of this work is due to the need to accumulate data on the potential of various natural reservoirs. The purpose of this work is to quantify the carbon uptake of carbon dioxide by a stand on the territory of PSUAS.

*Ключевые слова:* парниковые газы, оценка поглощения, запасы углерода, методика оценки, биомасса древостоя.

*Keywords:* greenhouse gases, absorption estimation, carbon stocks, estimation methodology, stand biomass.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-10-13>

Парниковые газы – газообразные вещества природного или антропогенного происхождения, которые поглощают и переизлучают инфракрасное излучение. [1]

Парниковыми газами (ПГ) называют целый ряд газообразных веществ, способных задерживать тепловое излучение небесных тел.

ПГ включают водяной пар, диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), оксид азота (N<sub>2</sub>O), гидрофтороуглероды (HFCS), перфтороуглероды (PFCS) и гексафторид серы (SF<sub>6</sub>).

Оценка поглощения углекислого газа была апробирована на примере биомассы древостоя, произрастающего на территории ПГУАС.

Растительный покров на территории ПГУАС весьма разнообразен, что определяется положением территории на стыке лесной и степной растительных зон. В качестве объекта исследования была взята территория ПГУАС, площадью 4,4 га (рис.1).

Была проведена инвентаризация количества и пород деревьев, произрастающих на территории ПГУАС визуальным способом.

Установлено, что преобладающими породами деревьев на территории ПГУАС являются ель и береза.

Для расчета запасов углерода в пуле биомассы древостоя были использованы два методических подхода:

1. Измерение высоты дерева с помощью теодолита и последующему определению объема ствола.

2. Измерение диаметра ствола на высоте 1,3 м с помощью рулетки и расчета с помощью аллометрических коэффициентов, регламентированных методикой [3].

Для расчета запасов углерода в пуле биомассы древостоя необходимы данные по высоте деревьев, которые определяли с помощью теодолита RGK T-20.

Для расчета высоты деревьев, м, использовали следующую формулу:

$$H = \tan \alpha \cdot l + h_t \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол наклона зрительной трубы теодолита, м;

$l$  – расстояние от теодолита до дерева, м;

$h_t$  – высота теодолита, м.



Рисунок 1 – Территория ПГУАС со спутника Яндекс карт [4]

Полученные экспериментальные данные по высотам деревьев на примере березы и ели были использованы для определения объемов ствола деревьев с помощью таблиц зависимости объемов ствола от диаметра ствола.

Расчет запасов углерода в пуле биомассы древостоя через измерение диаметра ствола и аллометрических коэффициентов по методике [3] предусматривает проведение замеров диаметра ствола березы и елей на высоте 1,3 м от поверхности земли с помощью рулетки.

Расчет запасов углерода в пуле биомассы древостоя проводили по следующей формуле (2) [3]. Количество углерода в пуле биомассы древостоя для каждой древесной породы определяли по следующей формуле:

$$C_{\text{биомасса}} = 0,5 \sum (a(d_i^b h_i)^b), \quad (2)$$

где:  $C_{\text{биомасса}}$  – углерод в биомассе древостоя, кг абсолютно сухого веса;

0,5 – коэффициент пересчета биомассы в углеродные единицы;

$d_i$  – диаметр i-ствола на высоте 1,3 м, см;

$h_i$  – высота i-дерева, м;

$a$  и  $b$  – коэффициенты аллометрического уравнения для разных фракций и древесных пород [3].

Была проведена инвентаризация древостоя, произрастающего на территории ПГУАС, результаты которой представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Количество и разновидности древостоя, произрастающего на территории ПГУАС*

| Вид древостоя                   | Средний диаметр, см | Количество, шт. | Площадь, га |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|-------------|
| Ель                             | 57,5                | 82              | 0,32        |
| Лиственница                     | 96,5                | 3               | 0,01        |
| Дуб                             | 158                 | 1               | 0,00        |
| Прочие твёрдолиственные         | 115                 | 19              | 0,07        |
| Береза                          | 120                 | 68              | 0,26        |
| Прочие мягколиственные          | 107,6               | 56              | 0,22        |
| Общее количество древостоя, шт. |                     | 229             |             |

Данные расчет количества углерода в пуле биомассы с учетом данных измерения высоты дерева с помощью теодолита представлены в таблице 2.

Таблица 2

*Исходные данные, полученные с помощью теодолита RGK T-20*

| Наименование дерева | Угол наклона зрительной трубы | Расстояние от теодолита до дерева, м | Высота теодолита, м |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Береза 1            | 48                            | 14,5                                 | 1,39                |
| Береза 2            | 47                            | 15,9                                 | 1,39                |
| Береза 3            | 43                            | 20,5                                 | 1,4                 |
| Ель 1               | 51                            | 20,2                                 | 1,36                |
| Ель 2               | 51                            | 11,5                                 | 1,37                |
| Ель 3               | 44                            | 16,3                                 | 1,36                |

По полученным данным, снятым с помощью теодолита, определяем высоту деревьев с помощью формулы (1) для расчета количества углерода в пуле биомассы древостоя. Результаты расчета вносим в таблицу 3.

С учетом полученных данных таблицы 3 можно сделать следующие выводы (рис. 2, 3):

- для березы Б<sub>1</sub>, Б<sub>2</sub>, Б<sub>3</sub> можно отметить слабую зависимость высоты дерева от его диаметра, а также зависимость объема ствола от высоты дерева;
- следует отметить определенную зависимость диаметра ствола березы и ели от высоты деревьев.

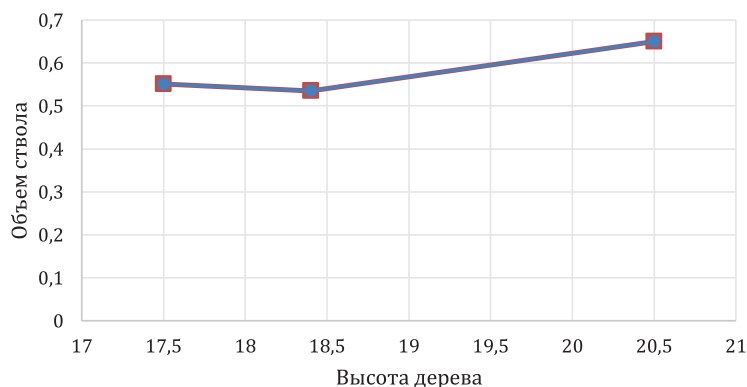


Рисунок 2 – Зависимость объема березы от высоты

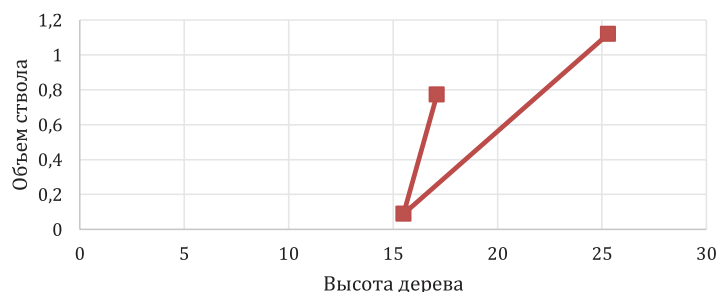


Рисунок 3 – Зависимость объема ели от высоты

Для второго метода использовали измерение диаметра ствола на высоте 1,3 м с помощью рулетки и расчета с помощью аллометрических коэффициентов, регламентированных методикой.

Таблица 3

*Зависимость объема ствола от высоты и диаметра деревьев: береза (Б) и ель (Е)*

| Наименование дерева | Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см | Высота дерева, м | Объем ствола, м³ | Масса ствола, кг |
|---------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Б <sub>1</sub>      | 30                                 | 17,5             | 0,551            | 385,7            |
| Б <sub>2</sub>      | 29                                 | 18,4             | 0,535            | 374,5            |
| Б <sub>3</sub>      | 29                                 | 20,5             | 0,65             | 455              |
| Е <sub>1</sub>      | 34                                 | 25,3             | 1,12             | 560              |
| Е <sub>2</sub>      | 12                                 | 15,5             | 0,088            | 44               |
| Е <sub>3</sub>      | 34                                 | 17,1             | 0,772            | 386              |

Расчет количества углерода в пуле биомассы древостоя осуществляли по формуле (2) [3]. Количество углерода в пуле биомассы березы и ели представлены в таблице 4.

Для расчета среднегодового количества углерода, поглощенного породами деревьев береза и ель, была разработана балансовая модель, в основе которой лежит программа EXCEL.

Из результатов таблицы 4 можно сделать следующие выводы:

- среднеарифметическое значение по среднегодовому показателю поглощения углерода биомассой березы, рассчитанное по методам 1 и 2, составило 0,139 т С/год;
- среднеарифметическое значение по среднегодовому показателю поглощения углерода биомассой ели, рассчитанное по методу 1, составило 0,139 т С/год;
- среднеарифметическое значение по среднегодовому показателю поглощения углерода биомассой ели, рассчитанное по методу 2, составило 0,019 т С/год;

– для березы можно отметить более высокий показатель поглощения, чем для ели: 0,156 т С/год и 0,014 т С/год, соответственно;

– отметим, что имеется различие среднегодового показателя поглощения углерода пулом биомассы по 1 и 2 методам относительно ели.

Таблица 4

*Среднегодовой показатель поглощения углерода пулом биомассы березы (Б) и ели (Е)  
с использованием методов 1 и 2*

| Древесная порода | Среднегодовой показатель поглощения углерода пулом биомассы, с учетом метода 1, т С/год | Среднегодовой показатель поглощения углерода пулом биомассы, с учетом метода 2, т С/год |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Б 1              | 0,1328                                                                                  | 0,133                                                                                   |
| Б 2              | 0,129                                                                                   | 0,129                                                                                   |
| Б 3              | 0,156                                                                                   | 0,156                                                                                   |
| Е 1              | 0,178                                                                                   | 0,03                                                                                    |
| Е 2              | 0,115                                                                                   | 0,014                                                                                   |
| Е 3              | 0,1228                                                                                  | 0,0145                                                                                  |

Таким образом, проведена инвентаризация древостоя на территории ПГУАС, которая показала, что преобладающими породами деревьев являются ель и береза.

В результате расчетов установлено следующее:

– для березы отмечали слабую зависимость высота дерева от его диаметра, а также зависимость объема ствола от высоты дерева;

– для елей четко прослеживается зависимость высоты от объема ствола этих деревьев;

– для березы и ели отмечали определенную зависимость диаметра ствола от высоты деревьев;

– среднеарифметическое значение по среднегодовому показателю поглощения углерода биомассой березы, рассчитанное по методам 1 и 2, составило 0,139 т С/год;

– среднеарифметическое значение по среднегодовому показателю поглощения углерода биомассой ели, рассчитанное по методу 1, составило 0,139 т С/год;

– среднеарифметическое значение по среднегодовому показателю поглощения углерода биомассой ели, рассчитанное по методу 2, составило 0,019 т С/год;

– для березы можно отметить более высокий показатель поглощения, чем для ели: 0,156 т С/год и 0,014 т С/год, соответственно;

– имеется различие среднегодового показателя поглощения углерода пулом биомассы по 1 и 2 методам относительно ели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов».

2. Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30 июня 2017 г. № 20-р. «Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов»

3. Ильшева Н.Н., Балдеску Е.В. Совершенствование методического инструментария количественной оценки выбросов парниковых газов с учетом международного опыта // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. – 2017. – Том 16. – № 1. – С. 108–126.

4. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.094> (дата обращения: 01.04.2022)

**МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ,  
НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ НА ВЫГОНАХ  
В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ**

**MONITORING OF THE HELMINTH FAUNA OF SMALL RODENTS LIVING ON THE  
BANKS OF DRAINAGE CHANNELS ON PASTURES IN THE BELARUSIAN POLESIE**

**В. В. Шумалов**

**V. V. Shimalov**

*Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина,  
г. Брест, Республика Беларусь  
shimalov@rambler.ru*

*Brest State University named after A.S. Pushkin, Brest, Republic of Belarus*

Представлены результаты мониторинга гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов на выгонах, проведенного в 2018 г. в Брестском Полесье (юго-западная часть Беларуси). В это время было отработано 1000 ловушко-суток и отловлено 97 зверьков 4 видов (3 вида полевок и 1 вид мышей). Общая зараженность мелких грызунов гельминтами составила 61,9 %. Выявлено 10 видов гельминтов (1 вид трематод, 2 вида цестод, 7 видов нематод). Все виды гельминтов паразитировали на половозрелой стадии и являются характерными паразитами грызунов. У обыкновенной полевки (доминант) чаще встречалась цестода *Paranoplocephala omphalodes* (Hermann, 1783), а у полевки-экономки (субдоминант) – трематода *Skrjabinoplagiiorchis polonicus* (Sołtys, 1957). Для этой трематоды и нематоды *Heligmosomoides laevis* (Dujardin, 1845) полевка-экономка является новым дефинитивным хозяином в Беларуси. Видов, имеющих медико-ветеринарное значение, не обнаружено.

The results of monitoring of the helminth fauna of small rodents inhabiting the banks of drainage channels on pastures, conducted in 2018 in Brest Polesie (the south-western part of Belarus) are presented. 1000 trap-days were worked out and 97 animals of 4 species (3 species of voles and 1 species of mice) were caught during this time. The total infection of small rodents with helminths was 61.9 %. 10 species of helminths were identified (1 species of trematodes, 2 species of cestodes, 7 species of nematodes). All helminth species were parasitized at the adult stage and are characteristic parasites of rodents. The cestode *Paranoplocephala omphalodes* (Hermann, 1783) was more often in the common vole (dominant species of rodents), and the trematode *Skrjabinoplagiiorchis polonicus* (Sołtys, 1957) in the root vole (subdominant species of rodents). The root vole is a new definitive host for this trematode and the nematode *Heligmosomoides laevis* (Dujardin, 1845) in Belarus. Species of medical and veterinary significance were not found.

**Ключевые слова:** мониторинг, гельминты, мелкие грызуны, мелиоративные каналы, выгон, Брестское Полесье, Беларусь.

**Keywords:** monitoring, helminths, small rodents, drainage channels, pasture, Brest Polesie, Belarus.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-14-17>

Фундаментальное исследование видового состава гельминтов и зараженности ими мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов в западной части Белорусского Полесья, было проведено в период 1996–1999 гг. [1]. На берегах мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах, на пахотных землях, выгонах и вдоль дорог, были установлены обитающие там виды мелких грызунов, их численность, видовой состав гельминтов и зараженность гельминтами этих зверьков. Тогда же было предложено проведение эколого-паразитологического мониторинга за гельминтофауной мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов, позволяющего следить за численностью этих зверьков, их видовым составом гельминтов и зараженностью, включая виды гельминтов, имеющих медико-ветеринарное значение. В 2005–2010 гг. на тех же мелиоративных системах был осуществлен следующий (мониторинговый) период исследований [2]. В результате пополнился комплекс гельминтов грызунов, было особо обращено внимание на усилившийся антропопрессинг на мелиоративные каналы, проявляющийся главным образом в периодическом выкашивании травянистой растительности на берегах и склонах каналов, и высказано предположение, что это может повлиять на численность, видовое разнообразие грызунов и их гельминтофауну. С 2015 года продолжен мониторинговый период исследований. Были опубликованы данные по зараженности гельминтами мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах [3] и на пахотных землях [4, здесь в заголовке таблицы 2 слова «в смешанных лесах» следует заменить на слова «на пахотных землях»].

В 2018 году на мелиоративных системах в Брестском и Малоритском районах Брестской области (Брестское Полесье) по берегам осушительных каналов, проходящих на выгонах, которые используются для выпаса



крупного рогатого скота, было отработано 1000 ловушко-суток (л-с) и поймано 97 мелких грызунов 4-х видов. Зверьков, как и в предыдущие годы, отлавливали давилками «Геро», выставленными в линию по 25 штук через 1,5–2 м друг от друга, приманка для грызунов была стандартная (кусочки ржаного хлеба, порезанного кубиками и слегка обжаренные на подсолнечном масле), их численность определялась с помощью л-с., для гельминтологического исследования и обработки собранного материала применяли метод полного гельминтологического вскрытия с обязательным компрессированием тканей и органов, а также такие широко используемые в паразитологических исследованиях показатели, как экстенсивность инвазии (ЭИ), интенсивность инвазии (ИИ), индекс обилия (ИО). Следует отметить, что берега и склоны мелиоративных каналов периодически выкашивались от травянистой растительности с помощью специальной техники.

Сведения о видовом составе грызунов, пойманных на берегах мелиоративных каналов на выгонах, их численности на 100 л-с, количестве исследованных и зараженных гельминтами представлены в таблице 1.

Таблица 1

Видовой состав, численность, количество исследованных и зараженных гельминтами мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов, проходящих на выгонах

| Вид животного                                                 | Количество    |    |    |    |               |            |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------------------------------|---------------|----|----|----|---------------|------------|----|----|----|----|----|----|
|                                                               | исследованных |    |    |    | на 100<br>л-с | зараженных |    |    |    |    |    |    |
|                                                               | ♂♂            | ♀♀ | П  | НП |               | ♂♂         | ♀♀ | П  | НП | Т  | Ц  | Н  |
| Cricetidae                                                    |               |    |    |    |               |            |    |    |    |    |    |    |
| Полевка обыкновенная –<br><i>Microtus arvalis</i> Pallas,1778 | 22            | 31 | 19 | 34 | 5,3           | 20         | 21 | 14 | 27 | –  | 28 | 31 |
| Полевка-экономка –<br><i>M. oeconomus</i> Pallas, 1776        | 11            | 18 | 16 | 13 | 2,9           | 4          | 10 | 11 | 3  | 11 | 6  | 4  |
| Полевка рыжая – <i>Myodes<br/>glareolus</i> (Schreber, 1780)  | 5             | 3  | 3  | 5  | 0,8           | 3          | 1  | 3  | 1  | –  | –  | 4  |
| Muridae                                                       |               |    |    |    |               |            |    |    |    |    |    |    |
| Мышь полевая – <i>Apodemus<br/>agrarius</i> Pallas, 1771      | 2             | 5  | 4  | 3  | 0,7           | –          | 1  | 1  | –  | –  | –  | 1  |

Примечание. ♂♂ – самцы, ♀♀ – самки, П – половозрелые особи, НП – неполовозрелые особи, л-с – ловушко-сутки, Т – трематоды, Ц – цестоды, Н – нематоды.

Численность мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов, проходящих на выгонах, составила 9,7 особей на 100 л-с. Это чуть меньше, чем на берегах каналов в смешанных лесах (11,7 особей на 100 л-с [3]) и почти в 2 раза меньше, чем на берегах каналов на пахотных землях (19 особей на 100 л-с) [4]. Здесь доминировала, как и в предыдущие периоды исследований [1, 2], обыкновенная полевка (5,3 особей на 100 л-с). Ее субдоминантом становится полевка-экономка (2,9 особей на 100 л-с), постепенно увеличивающая свою численность на берегах мелиоративных каналов, проходящих на открытых территориях [4].

Общая зараженность мелких грызунов гельминтами оказалась 61,9 %. Этот показатель немного меньше, чем у зверьков на берегах каналов в смешанных лесах (66,7 %) [3], и гораздо меньше, чем у зверьков на берегах каналов на пахотных землях (76,8 %) [4]. Значительно заражены гельминтами обыкновенные полевки (на 77,4 %). Более чем в 1,5 раза меньше инвазированы полевки-экономки (на 48,3%). Из 8 исследованных рыжих полевок зараженными оказались 4, а из 7 полевых мышей – только 1.

Установлено, что самцы мелких грызунов, пойманные на берегах каналов на выгонах, интенсивнее заражены, чем самки (на 67,5 % против 57,9 %), а половозрелые особи, чем неполовозрелые (на 69,1 % и 56,4%, соответственно). Значительно чаще животные заражаются нематодами (на 41,2 %). У 35,1 % зверьков выявлены цестоды и у 11,3 % – трематоды. Причем нематоды найдены у 4-х видов грызунов, цестоды – у обыкновенных полевок и полевок-экономок, а трематоды – только у полевок-экономок (таблица 1).

У 30,9 % исследованных мелких грызунов выявлено паразитирование в ассоциации 2 и 3 видов гельминтов. Примерно такой же процент отмечен у зверьков, населяющих берега каналов на пахотных землях (30,0 %) [4] и в смешанных лесах (31,8 % у рыжей полевки и 29,0 % у желтогорлой мыши) [3]. Только здесь количество видов гельминтов у одной особи доходило до 2–4.

У мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов, проходящих на выгонах, идентифицировано 10 видов гельминтов (таблица 2). Среди них оказался 1 вид трематод, 2 вида цестод и 7 видов нематод. Все виды гельминтов локализовались в пищеварительном тракте грызунов (кишечник, слепая кишка), а также еще и в печени ((трематода *Skrjabinoplagiorchis polonicus* (Sołtys, 1957) в 4-х случаях из 11)). Больше всего видов гельминтов было выявлено у обыкновенных полевок и полевок-экономок (по 5). У рыжих полевок найдено 3 вида гельминтов, у одной зараженной полевой мыши – 1.

Только у обыкновенных полевок и полевок-экономок были обнаружены схожие виды гельминтов. Ими оказались 2 вида цестод ((*Anoplocephaloides dentata* (Galli-Valerio, 1905) и *Paranoplocephala omphalodes* (Hermann, 1783)) и 2 вида нематод ((*Syphacia nigeriana* Baylis, 1928 и *Heligmosomoides laevis* (Dujardin, 1845)).



Таблица 2

Зараженность гельминтами мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов на выгонах

| Виды гельминтов                                        | Хозяин               | ЭИ   | ИИ   | ИО   |
|--------------------------------------------------------|----------------------|------|------|------|
| Трематоды                                              |                      |      |      |      |
| Plagiorchiidae                                         |                      |      |      |      |
| <i>Skryabinoplagicorhis polonicus</i> (Soltys, 1957)   | Полевка-экономка     | 37,9 | 1–13 | 2,04 |
| Цестоды                                                |                      |      |      |      |
| Anoplocephalidae                                       |                      |      |      |      |
| <i>Anoplocephaloides dentata</i> (Galli-Valerio, 1905) | Полевка обыкновенная | 1,9  | 1    | 0,02 |
|                                                        | Полевка-экономка     | 10,4 | 1–2  | 0,14 |
| <i>Paranoplocephala omphalodes</i> (Hermann, 1783)     | Полевка обыкновенная | 52,8 | 1–6  | 0,85 |
|                                                        | Полевка-экономка     | 10,4 | 1–1  | 0,10 |
| Нематоды                                               |                      |      |      |      |
| Capillariidae                                          |                      |      |      |      |
| <i>Pterothominx sadoyskoi</i> (Morosov, 1956)          | Полевка рыжая        | у 2  | 6–28 | 4,25 |
| Oxyuridae                                              |                      |      |      |      |
| <i>Syphacia nigeriana</i> Baylis, 1928                 | Полевка обыкновенная | 39,6 | 1–92 | 4,09 |
|                                                        | Полевка-экономка     | 3,5  | 10   | 0,35 |
| <i>S. petrusewiczii</i> Bernard, 1966                  | Полевка рыжая        | у 1  | 88   | 11,0 |
| Heligmosomidae                                         |                      |      |      |      |
| <i>Heligmosomoides laevis</i> (Dujardin, 1845)         | Полевка обыкновенная | 5,7  | 1–6  | 0,21 |
|                                                        | Полевка-экономка     | 10,4 | 1–1  | 0,10 |
| <i>H. polygyrus</i> (Dujardin, 1845)                   | Мышь полевая         | у 1  | 6    | 0,86 |
| <i>Heligmosomum costellatum</i> (Dujardin, 1845)       | Полевка обыкновенная | 32,1 | 1–24 | 1,98 |
| <i>H. mixtum</i> Schulz, 1954                          | Полевка рыжая        | у 4  | 1–8  | 1,88 |

У обыкновенной полевки в процентном отношении доминировала цестода *P. omphalodes* (52,8 %), а по численности гельминтов – нематода *S. nigeriana* (ИИ 1–92; ИО 4,09 при ЭИ 39,6). Также у 32,1 % обыкновенных полевков была обнаружена нематода *Heligmosomum costellatum* (Dujardin, 1845) с ИИ 1–24 и ИО 1,98. Участие других видов гельминтов в заражении этого вида полевков незначительно.

Полевка-экономка интенсивно включилась в циркуляцию по мелиоративным каналам трематоды *S. polonicus*. Данным видом трематод было заражено 37,9 % исследованных полевков-экономок при ИИ 1–13 и ИО 2,04. Среди зараженных оказалось 2 самца и 9 самок, все половозрелые. Инвазированные зверьки выявлены в Малоритском районе. Ранее трематода *S. polonicus* в количестве одного экземпляра была найдена у рыжей полевки, отловленной на берегу мелиоративного канала в смешанном лесу [3], а также у желтогорлых мышей в первый и второй периоды исследований на берегах мелиоративных каналов [1, 2] с низкими процентами зараженности. Для данного вида трематод полевка-экономка является новым в Беларуси дефинитивным хозяином (см. [5, с. 214]).

Доля участия других видов гельминтов в заражении полевков-экономок была невысокой (ЭИ 3,5–10,4; ИИ 1–10; ИО 0,10–0,35).

Следует отметить, что полевка-экономка стала новым в Беларуси дефинитивным хозяином нематоды *Heligmosomoides laevis* (Dujardin, 1845). Ранее этот вид гельминтов отмечался нами в 2017 году в Брестском Полесье у полевки-экономки, отловленной на берегу мелиоративного канала, проходящего на пахотных землях [4]. В Беларуси он был найден у желтогорлой мыши и обыкновенной полевки [5, с. 83], в том числе у последнего вида – в Брестском Полесье [1, 2, 4], включая информацию в таблице 2 настоящего сообщения.

Два других вида мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов на выгонах, численность которых невысокая (0,8 особей на 100 л-с у рыжей полевки и 0,7 особей на 100 л-с у полевой мыши), приносят сюда свои характерные им виды паразитических червей. Такие виды нематод, как *Syphacia petrusewiczii* Bernard, 1966 и *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954 являются специфичными для рыжей полевки, а нематодой *Heligmosomoides polygyrus* (Dujardin, 1845) часто заражаются мыши [1–4], в том числе и полевые. Все зараженные рыжие полевки были инвазированы нематодой *H. mixtum* (ИИ 1–8; ИО 1,88), а у зараженной половозрелой самки полевой мыши в кишечнике локализовалось 6 экземпляров нематоды *H. polygyrus*.

Все обнаруженные виды гельминтов были половозрелыми и являются характерными паразитами грызунов. Случаев паразитирования гельминтов на личиночной стадии, как и видов гельминтов, имеющих медико-ветеринарное значение, у мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов, проходящих на выгонах, не выявлено. Однако, это не исключает в будущем нахождения там таких гельминтов, тем более, что в предыдущие

годы исследований на берегах мелиоративных каналов установлено участие мелких грызунов в жизненных циклах гельминтов, дефинитивными хозяевами которых являются птицы и хищные млекопитающие, а также наличия у них возбудителей гельминтозов человека и домашних животных [1–4].

Таким образом, проведенный мониторинг помог проследить современную ситуацию в отношении видового разнообразия мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов на выгонах, их численность, зараженность гельминтами, видовой состав паразитических червей, установить нового в Беларуси дефинитивного хозяина (полевка-экономка) для двух видов гельминтов. Влияние человека на мелких грызунов и их гельминтофауну (включая виды гельминтов, имеющих медико-ветеринарное значение), связанное с периодическим выкашиванием травянистой растительности на берегах и склонах мелиоративных каналов, требует дальнейшего изучения. В целом, мелиоративные системы с разветвленной сетью осушительных каналов являются неотъемлемой частью ландшафтов Белорусского Полесья, используются в сельском хозяйстве и должны контролироваться человеком, в том числе на возможное наличие там очагов гельминтозов, представляющих опасность человеку и домашним животным, в формировании которых могут принимать участие дикие животные.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шималов, В.В. Гельминтофауна мелких грызунов (Mammalia: Rodentia) берегов каналов на мелиорированных территориях / В.В. Шималов // Паразитология. – 2002. – Вып. 3. – С. 247–252.
2. Шималов, В.В. Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов берегов мелиоративных каналов Белорусского Полесья / В.В. Шималов // Паразитология. – 2013. – Вып. 1. – С. 38–46.
3. Шималов В.В. Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов в смешанных лесах Белорусского Полесья / В.В. Шималов // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века: материалы 21-й междунар. науч. конф., 20-21 мая 2021 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А.Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А.Н. Батын [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С.А. Маскевича, к.т.н., доцента М.Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – Ч. 2. – С. 226–230.
4. Шималов В.В. Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов пахотных земель Белорусского Полесья / В.В. Шималов // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й междунар. науч. конф., 19-20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А.Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А.Н. Батын [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С.А. Маскевича, к.т.н., доцента М.Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – С. 137–140.
5. Гельминты позвоночных животных и человека на территории Беларуси: каталог / Е.И. Бычкова [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по биоресурсам. – Минск: Беларуская навука, 2017. – С. 83, 214.

## ПРОЦЕССЫ ДЕГРАДАЦИИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ: ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

### PROCESSES OF PEAT SOIL DEGRADATION: DIAGNOSTIC CRITERIA AND DISTRIBUTION ON THE TERRITORY OF BELARUS

**Н. Н. Цыбулько<sup>1,2</sup>, Е. В. Алексейчик<sup>1,2</sup>**  
**N. N. Tsybulka<sup>1,2</sup>, E. V. Alexeichik<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
res\_sector@iseu.by, nik.nik1966@tut.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

Площадь деградированных торфяных почв в республике составляет 313,8 тыс. га. Данные почвы диагностируются на видовом уровне по остаточному содержанию органического вещества в пахотном горизонте. В ряде административных районов Брестской, Гомельской и Минской областей деградированные торфяные почвы с разной степенью минерализации органического вещества занимают более 10% от площади сельскохозяйственных земель. Для районов, в которых удельный вес таких почв уже превышает 5%, необходима разработка системы почвоохранных мероприятий.

The area of degraded peat soils in the republic is 313.8 thousand ha. These soils are diagnosed at the species level by the residual content of organic matter in the plow horizon. In a number of administrative districts of the

Brest, Gomel and Minsk regions, degraded peat soils with varying degrees of mineralization of organic matter occupy more than 10% of the agricultural land area. For areas in which the proportion of such soils already exceeds 5%, it is necessary to develop a system of soil protection measures.

*Ключевые слова:* торфяные почвы, степень деградации, диагностические критерии, распространение.

*Keywords:* peat soils, degree of degradation, diagnostic criteria, distribution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-17-20>

На территории Беларуси за относительно небольшой временной период (вторая половина XX века) проведено мелиоративное преобразование (осушение) более 1 млн га болотных и заболоченных ландшафтов для использования торфяных почв в качестве сельскохозяйственных земель. В результате осушительной мелиорации происходит радикальная трансформация болотных ландшафтов – из аккумулятивных они превращаются в элювиальные и аккумулятивно-элювиальные. В естественных условиях основная масса органического вещества целинных торфяников законсервирована, биологические процессы заторможены. Изменение гидрологических условий при осушении и интенсивное сельскохозяйственное использование приводят к резкому изменению свойств и режимов торфяно-болотных почв: происходит механическая усадка торфа, повышается температура и аэрируемость почвенных горизонтов, восстановительные процессы сменяются окислительными, активизируются микробиологические процессы. Все это в итоге способствует разрушению органогенного (торфяного) слоя [1, 2].

В современном понимании деградация почв представляет собой совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функции почв, количественному и качественному ухудшению их состава, свойств и режимов, природно-хозяйственной значимости земель. Процесс деградации осушенных торфяных почв представляет собой постепенное уменьшение мощности торфяного слоя вплоть до полного его разрушения в результате минерализации органического вещества, дефляции и физического уплотнения (усадки). Скорость этих процессов зависит от степени осушения, глубины торфяного слоя, ботанического состава и степени разложения торфа, продолжительности и интенсивности сельскохозяйственного использования почвы, механической обработки почвы, количества вносимых удобрений, поступления в почву послеуборочных растительных остатков, количества и состава минеральных компонентов [3].

Академиком Н.Н. Бамбаловым на основе обобщения многочисленных данных исследований по 16 экспериментальным объектам Беларуси установлено, что уменьшение мощности торфа колеблется от 1 до 12 см в год, составляя в среднем 2–3 см в год. При этом в результате безвозвратных потерь слой торфа уменьшается на 0,3–0,5 см в год, остальное – за счет уплотнения [4].

На месте осушенных торфяных почв в результате частичной или полной сработки торфа и припахивания подстилающей породы, преимущественно песчаного гранулометрического состава, формируются антропогенно-преобразованные деградированные торфяные почвы, в пахотном (торфяно-минеральном) горизонте которых содержание органического вещества составляет менее 50%.

Деградированные торфяные почвы в Республике Беларусь диагностируются на видовом уровне по остаточному содержанию органического вещества (ОВ) в пахотном горизонте [5]:

- торфяно-минеральные почвы – содержание органического вещества 50,0-20,1 %;
- минеральные остаточно-торфяные почвы – содержание органического вещества 20,0-5,1 %;
- минеральные постторфяные почвы – содержание органического вещества  $\leq 5,0$  %.

Критериями определения (оценки) степени деградации (минерализации) торфяных почв являются уменьшение мощности торфяного слоя в см в год и в процентах, а также содержание органического вещества в слое почвы 0-20 см в процентах по отношению к значению его по данным предыдущего почвенного обследования (табл. 1).

Таблица 1

*Критерии оценки и показатели степени деградации осушенных торфяно-болотных почв*

| Критерии оценки степени деградации почв (земель)                                                     | Показатели степени деградации почв (земель)* |                |                |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|----------------|----------------------|
|                                                                                                      | 1<br>(низкая)                                | 2<br>(средняя) | 3<br>(высокая) | 4<br>(очень высокая) |
| Уменьшение мощности торфяного слоя, см в год                                                         | 2-4                                          | >4-6           | >6-8           | >8                   |
| Уменьшение мощности торфяного слоя (по сравнению со значением показателя предыдущих обследований), % | 10-30                                        | >30-50         | >50-80         | >80                  |
| Содержание органического вещества в слое 0–20 см, %                                                  | <50-30                                       | <30-10         | <10-5          | <5                   |

По каждому из принятых критериев выделены 4 степени деградации торфяных почв: низкая, средняя, высокая и очень высокая. Так, при низкой степени деградации уменьшение мощности торфяного слоя составляет 2–4 см в год или на 10-30% к значению предыдущего почвенного обследования, а при очень высокой степени деградации – >8 см в год или >80% к значению предыдущего почвенного обследования.

Согласно данным материалов корректировки 3-го тура почвенных обследований 2005-2015 годов площадь деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель Беларуси составляет 313,8 тыс. га или 4,2 % от общей площади сельскохозяйственных земель республики (табл. 2). По сравнению с данными (190,2 тыс. га) предыдущего почвенного обследования земель (1986–1998 годы) их площадь возросла на 123,6 тыс. га или в 1,6 раза.

Таблица 2

*Распространение деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель по областям Беларуси (по материалам почвенного обследования 2005–2015 годов)*

| Область     | Всего   |                                                       | В том числе по степени деградации                                  |     |                                           |     |         |     |
|-------------|---------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------|-----|---------|-----|
|             |         | торфяно-минеральные<br>(содержание ОВ<br>50,0–20,1 %) | минеральные<br>остаточно-торфяные<br>(содержание ОВ<br>20,0–5,1 %) |     | постторфяные<br>(содержание ОВ<br>≤5,0 %) |     |         |     |
|             | тыс. га | %                                                     | тыс. га                                                            | %   | тыс. га                                   | %   | тыс. га | %   |
| Брестская   | 104,4   | 7,4                                                   | 56,6                                                               | 4,0 | 44,5                                      | 3,2 | 3,3     | 0,2 |
| Витебская   | 11,1    | 0,7                                                   | 9,3                                                                | 0,6 | 1,8                                       | 0,1 | –       | –   |
| Гомельская  | 73,4    | 5,4                                                   | 31,9                                                               | 2,4 | 39,5                                      | 2,9 | 2,0     | 0,1 |
| Гродненская | 24,4    | 2,0                                                   | 19,9                                                               | 1,6 | 4,5                                       | 0,4 | –       | –   |
| Минская     | 83,8    | 5,2                                                   | 59,7                                                               | 3,7 | 22,8                                      | 1,4 | 1,3     | 0,1 |
| Могилевская | 16,7    | 1,2                                                   | 11,2                                                               | 0,8 | 5,0                                       | 0,4 | 0,5     | –   |
| Беларусь    | 313,8   | 3,6                                                   | 188,6                                                              | 2,2 | 118,1                                     | 1,4 | 7,1     | 0,1 |

В составе деградированных торфяных почв наибольшие площади занимают торфяно-минеральные почвы с содержанием органического вещества 50,0–20,1 % – 188,6 тыс. га или 60,1 %. Площади минеральных остаточно-торфяных почв с содержанием органического вещества 20,0–5,1 % и постторфяных почв с содержанием органического вещества ≤5,0% составляют соответственно 118,1 и 7,1 тыс. га или 37,6 и 2,3 %.

Все административные районы республики по удельному весу деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель разделены на 4 группы: ≤1,0 %, 1,1–5,0 %, 5,1–10,0 % и >10,0 %. Проведенная группировка районов показала, что к первой группе (≤1 %) относится 39 районов, ко второй группе (1,1–5,0%) – 50, к третьей группе (5,1–10,0 %) – 18, к четвертой группе (>10,0 %) – 11 районов (табл. 3).

Административные районы, в составе пахотных и луговых земель которых удельный вес деградированных торфяных почв не превышает 1 %, сосредоточены в Витебской и Могилевской областях. Районы, в которых такие почвы занимают 1,1–5,0 %, преобладают в Минской и Гродненской областях. Районы с удельным весом в составе сельскохозяйственных земель деградированных торфяных почв более 10 % сконцентрированы в Брестской, Гомельской и Минской областях.

Таблица 3

*Распределение административных районов по удельному весу деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель*

| Область                    | Количество районов по удельному весу деградированных торфяных почв |           |            |           |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
|                            | <1 %                                                               | 1,1–5,0 % | 5,1–10,0 % | >10,0 %   |
| Брестская                  | –                                                                  | 5         | 7          | 4         |
| Витебская                  | 14                                                                 | 7         | –          | –         |
| Гомельская                 | 2                                                                  | 10        | 4          | 5         |
| Гродненская                | 5                                                                  | 12        | –          | –         |
| Минская                    | 3                                                                  | 13        | 4          | 2         |
| Могилевская                | 15                                                                 | 3         | 3          | –         |
| <b>Республика Беларусь</b> | <b>39</b>                                                          | <b>50</b> | <b>18</b>  | <b>11</b> |

На картограмме приведена группировка административных районов по удельному весу деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель. Районы, в которых деградированные торфяные почвы занимают более 10%: Ганцевичский, Лунинецкий, Малоритский и Пинский районы Брестской области; Ельский, Житковичский, Лельчицкий, Октябрьский и Петриковский районы Гомельской области; Любанский и Солигорский районы Минской области (рисунки).



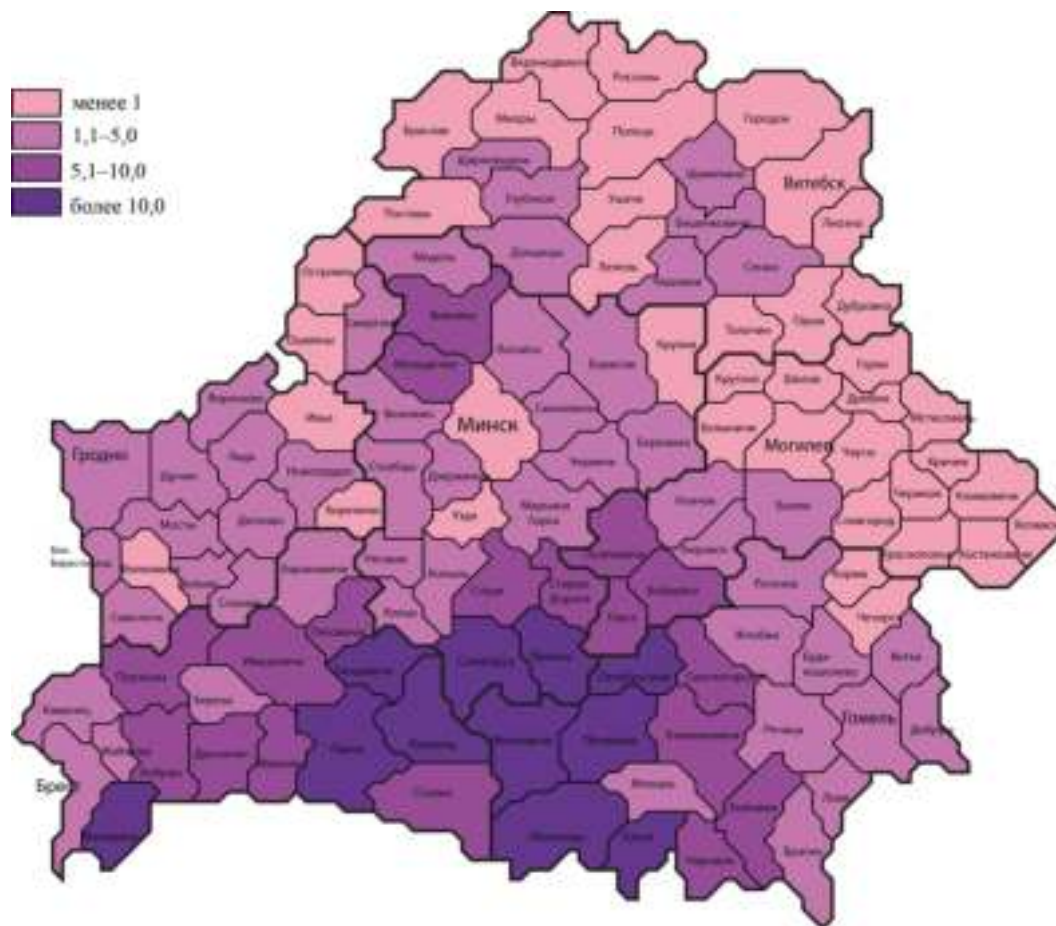


*Рисунок – Картограмма группировки административных районов по удельному весу деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель, %*

Таким образом, изменение гидрологического режима при осушении и интенсивное сельскохозяйственное использование приводят к резкому изменению свойств торфяно-болотных почв. В результате уменьшения мощности торфяного слоя и содержания органического вещества, частичной или полной сработки торфа и припахивания подстилающей породы формируются антропогенно-преобразованные деградированные торфяные почвы, площадь которых в республике в настоящее время составляет 313,8 тыс. га. В ряде административных районов Брестской, Гомельской и Минской областей деградированные торфяные почвы с разной степенью минерализации органического вещества занимают более 10 % от площади сельскохозяйственных земель. В районах, в которых удельный вес таких почв уже превышает 5 %, необходима разработка системы почвоохранных мероприятий, корректировка специализации аграрного производства и оптимизация землепользования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мееровский, А.С. Торфяные почвы Беларуси – 150 лет в сельском хозяйстве / А.С. Мееровский, В.Н. Филиппов // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 78-83.
2. Почвы Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
3. Бамбалов, Н.Н. Агрогенная эволюция осушенных торфяных почв / Н.Н. Бамбалов // Почвоведение. – 2005. – № 1. – С. 29–37.
4. Бамбалов, Н.Н. Причины и следствия ускоренной деградации торфяных почв / Н.Н. Бамбалов, В.Я. Турото // Белорусское Полесье. – 2001. – Вып. 1. – С. 14–20.
5. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; под общей редакцией В.В. Лапа, А.Ф. Черныша. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 170 с.

# ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ ДЕРЕВА

## SOME ASPECTS OF EFFICIENCY IMPROVEMENT OF WOOD BIOMASS PROCESSING

**С. О. Медведев, М. А. Зырянов**  
**S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov**

*Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета науки  
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
г. Лесосибирск, Российская Федерация  
medvedev\_serega@mail.ru*

*Lesosibirsk branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Lesosibirsk, Russian Federation*

В статье представлен анализ направлений современного развития лесной отрасли. Показано, что важнейшим компонентом является максимально полное использование ресурсов древесной биомассы. Установлено, что наименее используемым сырьем в данном направлении являются отходы лесозаготовок. При этом их использование позволяет достигать экономического, экологического, социального и технологического эффектов. Авторским коллективом разработаны технологические решения, позволяющие активно вовлекать данные ценные ресурсы для получения ценной продукции. В работе представлены обобщенные принципиальные аспекты разработок. При этом предложенные решения в настоящее время проходят апробацию на действующих лесозаготовительных предприятиях.

The article presents an analysis of the directions of modern development of the forest industry. It is shown that the most important component is the fullest possible use of wood biomass resources. It is established that the least used raw materials in this direction are logging waste. At the same time, their use makes it possible to achieve economic, environmental, social and technological effects. The team of authors has developed technological solutions that allow actively involving these valuable resources to obtain valuable products. The paper presents generalized principal aspects of the developments. At the same time, the proposed solutions are currently being tested at existing logging enterprises.

*Ключевые слова:* лесозаготовка, биомасса дерева, эффективность, продукция, отходы.

*Keywords:* logging, wood biomass, efficiency, products, waste.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-21-24>

Современная лесная промышленность претерпевает значительные видоизменения. Основное направления развития – совершенствование всех процессов, протекающих на предприятиях [1]. При этом можно выделить несколько наиболее ключевых аспектов:

1. Внедрение современной техники и оборудования, повышение автоматизации производственных процессов. Развитие предприятий неразрывно связано с внедрением современного оборудования. Последнее отличается повышенной производительностью и уровнем автоматизации в сравнении с устаревающей морально и физически техникой. Лесопромышленный комплекс (ЛПК) состоит из множества разнообразных направлений деятельности. Лишь на части крупных перерабатывающих комплексах внедрения новой техники единично. Это обусловлено использованием дорогостоящего оборудования – линий по выпуску продукции (в основном глубокой переработки). На всех остальных предприятиях модернизация осуществляется планомерно и согласно стратегиям развития бизнеса [2].

2. Повсеместная информатизация. Развитие информационных технологий – неотъемлемая составная часть современного общества. Всё активнее они проникают и в производство. В лесной промышленности информационные технологии используются для ускорения различных процессов: внедряется соответствующее программное обеспечение, используются геоинформационные системы, с помощью технологий Data Mining происходит обработка огромных массивов данных и принимаются управленческие решения и т.д. Информатизация пронизывает все сферы ЛПК – от лесозаготовок и производства продукции до ее сбыта и взаимодействия с различными институтами внешней среды.

3. Развитие глубокой переработки. Неуклонное стремление Правительства России в развитии глубокой переработки древесной биомассы, начатое в начале 20 века, переросло в реальное повышение доли таких производств по всей стране. При этом внимание к такой деятельности обусловлено как влиянием государственных мер, так и рыночными факторами. Продукция глубокой переработки – более дорогостоящая в сравнении с аналогами, при этом ее отдельные виды могут выпускаться с использованием в качестве сырья вторичных древесных ресурсов.



Последние, по сути, являются отходами от основной деятельности и длительное время находили минимальное использование для промышленных целей. Основное их назначение до недавнего времени - получение энергии (сжигание). В настоящее время производства, особенно в районах с близким расположением к крупным перерабатывающим комплексам, практически полностью перерабатывают все вторичные древесные ресурсы [3].

4. Экологизация производства. В соответствии с общим направлением развития мировой экономики, нацеленным на устойчивое развитие, лесная промышленность также все больше внимания уделяет экологическим вопросам. Также важную роль в данных процессах играет и общество. Предприятиям все сложнее осуществлять свою деятельность, не обращая внимания на воздействие на природную среду. Выбросы, сбросы, отходы – ключевые факторы воздействия предприятий ЛПК на окружающую среду. Учитывая государственную природоохранную политику и активное вмешательство общественности на сегодняшний момент времени практически невозможно создать новое крупное производство, не соответствующее экологическим требованиям. При этом требования к воздействию на природу достаточно жесткие. С другой стороны, ответственный бизнес понимает, что соответствие экологическим требованиям можно монетизировать. Лишь продукция с экологически чистых, «зеленых» производств может быть поставлена на чувствительный европейский рынок. Вследствие этого сертификация продукции (где важным выступают вопросы экологии) является одним из инструментов выхода на новые рынки и повышения прибыли предприятий ЛПК.

5. Повышение эффективности всех процессов. Конкурентоспособность бизнеса обуславливается в современных условиях тем, насколько слаженно и результативно все его процессы. С целью повышения эффективности руководство предприятий проводит постоянную политику оптимизации процессов. Наиболее важным, по авторскому мнению, в данном контексте выступает повышение эффективности переработки биомассы дерева [4]. Данный тезис обусловлен тем, что любые другие процессы в целом достаточно хорошо изучены и апробированы на примерах многих отраслей. Ведь управление персоналом, финансовое обеспечение и иные процессы, не касающиеся напрямую древесного сырья – стандартны и могут быть перенесены из одной отрасли в другую. При этом переработка древесной биомассы – это специфическое направление, уникальное для лесной промышленности.

Характеристики сырья – древесины – действительно определяют лесопромышленный комплекс как уникальную отрасль. Это возобновляемый ресурс, использование которого сопряжено с широкими возможностями повторного использования и вовлечения в производственный процесс отходов от основной деятельности. Общая схема движения древесной биомассы представлена на рис. 1.

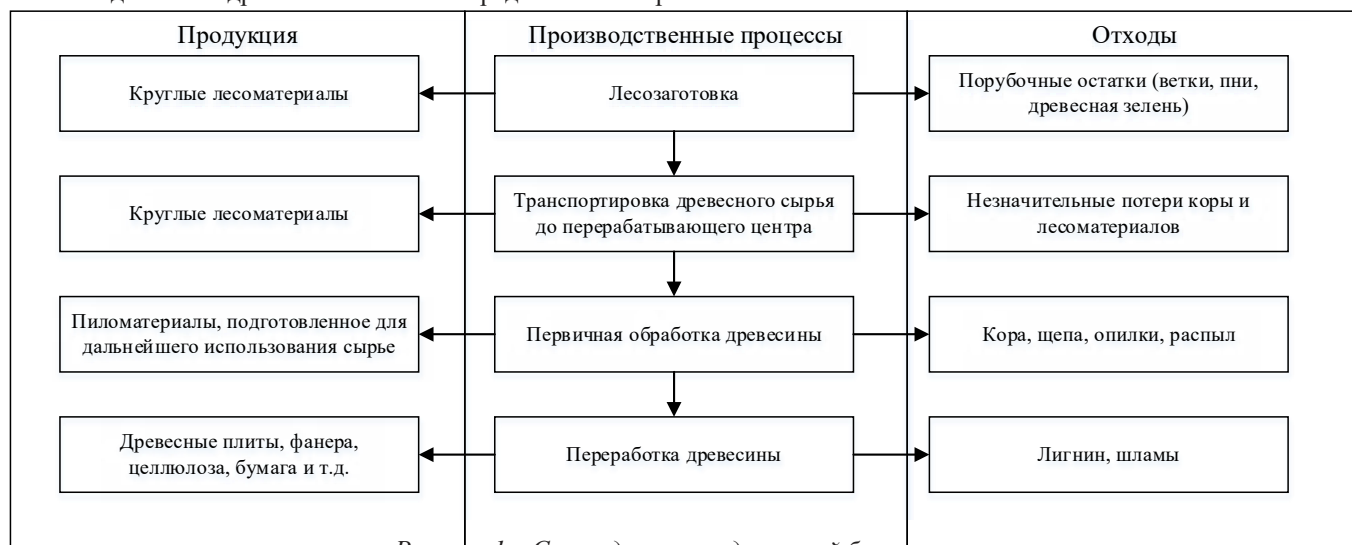


Рисунок 1 – Схема движения древесной биомассы

На представленной схеме показаны основные стадии воздействия на древесное сырье – лесозаготовка, первичная обработки и переработка древесины. Также в схему включена стадия транспортировки древесного сырья до перерабатывающего центра. Это сделано по нескольким причинам:

1. Транспортировка на данный момент зачастую осуществляется на очень большие расстояния – до 300 км.
2. Данный процесс может длиться много месяцев. Так заготовка может быть выполнена в октябре-ноябре, а вывозка/доставка древесины – лишь летом будущего года.
3. Транспортировка может быть сопряжена с определенной обработкой перевозимого сырья. Например, окоркой или даже получением определенных полуфабрикатов (вплоть до целлюлозы), подученных на лесной территории.

Обращаясь к традиционным стадиям схемы движения древесной биомассы, следует отметить, что на данный момент времени происходит их повсеместная оптимизация. По авторскому мнению главная роль в данных процессах должна отводиться максимальному вовлечению в производство всех ресурсов древесной биомассы. Это означает, что начиная от лесозаготовок и заканчивая глубокой переработкой все производственные отходы должны находить применение для получения продукции. Это позволит достигать следующих эффектов:

1. Экологический. Снижается объем образования отходов и риски возникновения неблагоприятных ситуаций на лесной территории (пожары, болезни, развитие микроорганизмов и насекомых).
2. Экономический. Создание новой продукции, при этом зачастую дорогостоящей, позволит существенно повысить финансовые результаты лесопромышленных предприятий.
3. Социальный. Для организации новых и расширения действующих производств требуется создание новых рабочих мест. Таким образом, в определенной степени снижается уровень безработицы и повышается доход населения.
4. Технологический. Организация переработки дополнительных ресурсов древесной биомассы требует использования новых, зачастую отличных от используемых на данный момент времени технологий. Это расширяет возможности предприятий лесной отрасли, способствует научно-технологическому развитию как отдельных организаций, так и всей отрасли.

Следует отметить, что использование вторичных древесных ресурсов на промышленных площадках (предприятиях) организовано на достаточно хорошем уровне. По крайней мере небольшую линию по производству топливных гранул способно организовать практически любое даже среднее предприятие. Также находят применение вторичные древесные ресурсы в плитном, мебельном и ряде других направлений. Более острая проблема стоит при использовании отходов лесозаготовок. В настоящее время они практически не используются. Причина – дороговизна вывозки с лесной территории необработанного вторичного сырья и, как следствие, отсутствие рентабельности таких видов деятельности. При этом существуют реальные возможности по развитию использования отходов лесозаготовок. На рис. 2 представлена структура отходов лесозаготовок.



Рисунок 2 – Структура отходов лесозаготовок

Представленная структура носит общий характер. На практике доля каждого вида отхода (вторичного ресурса) существенно варьируется в зависимости от особенностей каждого дерева. При этом на объем как получаемой продукции (стволовой древесины) оказывают влияние природно-климатические, экологические факторы, а также возраст дерева. Исходя из рис. 2 видно, что объем данных вторичных ресурсов может составлять от 20 до 60 %. В условиях заготовки древесины даже небольшими предприятиями в объемах, измеряемых десятками тысяч кубических метров, очевидно, что объем данных ресурсов также колоссален.

Ключевая задача – организовать процессы лесозаготовительного предприятия таким образом, чтобы использование огромных объемов отходов лесозаготовок являлось рентабельным.

Авторским коллективом предложена система технологических решений и оборудования для эффективной переработки биомассы дерева в условиях лесозаготовительных работ [5]. Для разработанных технологических решений произведен расчет и обоснование эффективности инвестиций. Показано, за счет каких решений возможно вовлекать в производственные процессы отходы лесозаготовок. Обобщая разработанные рекомендации, можно выделить несколько ключевых аспектов:

1. Предварительная подготовка вторичного древесного сырья на лесной территории, доведение его до состояния полуфабриката.
2. Использование уникального оборудования, позволяющего при низких затратах получать ценные полуфабрикаты.
3. Решение логистических задач, посредством уменьшения объемов и массы перевозимых грузов, а также применения ряда технологических решений по модернизации транспортной техники.

Разработанные решения запатентованы, в настоящий момент времени происходит их внедрение на действующих производственных площадках лесозаготовительных предприятий Красноярского края.

Основные перспективы исследований авторского коллектива связаны с развитием предлагаемых технологических решений: расширение предлагаемого к получению ассортимента товарной продукции, повышение производительности техники, решение ряда организационно-экономических задач по повышению эффективности деятельности лесозаготовительных и других лесопромышленных предприятий за счет переработки биомассы дерева.

В результате проведенного исследования выявлены основные особенности современного состояния лесной отрасли в части использования ресурсов древесной биомассы. Показаны ключевые аспекты развития лесопромышленных предприятий как таковых. Определено, что важная часть современной деятельности сопряжена с повышением эффективности множества процессов, ключевым из которых выступает повышение использования древесной биомассы. Для последней установлено, что наиболее перспективным направлением (в настоящий момент слабо развитым) является использование отходов лесозаготовок. Для них представлена структура и доля образования в зависимости от объема заготавливаемой древесины. Полученные в результате исследования могут и должны находить применение при развитии лесной отрасли, в частности лесозаготовительного направления. Основные объекты для получения результатов – различные органы власти и непосредственные лесозаготовительные предприятия.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках научного проекта № 2022052708731.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Асанович В.Я. Концепция использования новых институтов рыночной экономики для повышения эффективности функционирования лесопромышленного комплекса регионов республики Беларусь / В.Я. Асанович, В.В. Валетко // Бухгалтерский учет и анализ. 1999. № 10 (34). С. 28–30.
2. Садртдинов А.Р. Перспективные направления переработки неликвидной древесной биомассы лесозаготовок и деревообработки / А.Р. Садртдинов, Л.М. Исмагилова, Р.Р. Мухаметзянов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2–3 (7–3). С. 117–119.
3. Medvedev S.O. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use / S.O. Medvedev, M.A. Zyryanov, A.P. Mokhirev, O.A. Kunitskaya, R.V. Voronov, T.N. Storodubtseva, O.I. Grigorieva, I.V. Grigorev // Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. 2022. Т. 17. № 5. С. 745–752.
4. Тунцев Д.В. Современные направления переработки древесной биомассы / Д.В. Тунцев, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, А.С. Савельев, И.С. Романчева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2–1 (13–1). С. 464–468.
5. Zyryanov M. Study of the possibility of using logging residue for the production of wood processing enterprises / M. Zyryanov, S. Medvedev, A. Mokhirev // Journal of Applied Engineering Science. 2020. Т. 18. № 1. С. 15–18.

### ПЛАЗМОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА КАК АКТИВНОЙ ФАЗЫ ГИБРИДНЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

### PLASMA-INDUCED MORPHOLOGICAL CHANGES OF SILVER NANOPARTICLES AS AN ACTIVE PHASE OF THE HYBRID PHOTOCATALYSTS FOR THE PHOTODEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS IN AQUEOUS MEDIA

**Н. А. Савастенко<sup>1,2</sup>, А. А. Щербович<sup>1,2</sup>,  
В. А. Люшкевич<sup>3</sup>, И. И. Филатова<sup>3</sup>, С. А. Маскевич<sup>1,2</sup>  
N. A. Savastenko<sup>1,2</sup>, A. A. Shcherbovich<sup>1,2</sup>,  
V. A. Lyushkevich<sup>3</sup>, I. I. Filatova<sup>3</sup>, S. A. Maskevich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nataliesavastenko@iseu.by

<sup>3</sup>Институт физики НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь,

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>B.I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

Установлены изменения морфологии плазмонных наночастиц (НЧ) Ag под действием плазмы диэлектрического барьерного разряда (ДБР). В предыдущих работах было показано, что гибридные фотокатализаторы Ag/ZnO, полученные путем импрегнирования ZnO коллоидом, содержащим Ag-НЧ, с последующей

обработкой в плазме ДБР, изменяют свою активность в зависимости от эффективной энергии, поглощенной за время обработки. В настоящей работе воздействие плазмы ДБР на НЧ проводилось в течение различных промежутков времени, таким образом, чтобы энергия, поглощаемая НЧ, соответствовала энергии, поглощенной гибридными фотокатализаторами Ag/ZnO в предыдущих экспериментах. Показано, что плазмоиндуцированное изменение размеров Ag-НЧ может являться одним из факторов повышения активности гибридных фотокатализаторов в реакциях фотодегradации органических примесей в водных средах.

Morphological changes of plasmonic silver nanoparticles (Ag-NPs) under the action of dielectric barrier discharge (DBD) plasma are observed. In the previous studies, it was shown that the performance of DBD-plasma-modified hybrid photocatalysts Ag/ZnO impregnated with Ag-NPs depends on effective energy consumed by the catalysts during plasma treatment. In this study, plasma treatment of Ag-NPs was carried out in such a way as to ensure the similar values of effective energy consumed by Ag-NPs and hybrid photocatalysts Ag/ZnO in the previous experiments. It is shown that plasma-induced morphological changes of Ag-NPs can be one of the factors for increasing the activity of hybrid photocatalysts in the reactions of photodegradation of organic impurities in aqueous media.

*Ключевые слова:* фотокатализатор, ZnO, фотодегradация, обработка в плазме, плазмонные наночастицы, атомная силовая микроскопия, фотометрия, диэлектрический барьерный разряд.

*Keywords:* photocatalyst, ZnO, photodegradation, plasma treatment, plasmonic nanoparticles, atomic force microscopy, photometry, dielectric barrier discharge.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-24-28>

Повышение активности фотокатализаторов для очистки водных сред от органических примесей методом фотодегradации является важной задачей в области эффективного природопользования. В предыдущих работах было показано, что гибридные фотокатализаторы Ag/ZnO, полученные методом импрегнирования ZnO коллоидом, содержащим Ag-НЧ, с последующей обработкой в плазме диэлектрического барьерного разряда в воздухе при нормальном давлении, эффективны в реакциях фотодегradации метилового оранжевого и кофеина бензоата натрия под действием ультрафиолетового облучения [1, 2]. Причем, было обнаружено, что активность обработанных в плазме фотокатализаторов, зависит от величины эффективной энергии, поглощенной материалом за время обработки в плазме. Было показано, что обработка в плазме ДБР приводит к изменению времени рекомбинации фотоиндуцированных пар электрон-дырка в ZnO, что, в свою очередь, влияет на активность материалов в каталитических реакциях. Было установлено, что существует оптимальное значение эффективной энергии, поглощенной за время обработки материалов в плазме, соответствующее максимальной каталитической активности обработанных материалов. В настоящей работе проведены систематические исследования плазмоиндуцированных изменений морфологии Ag-НЧ под действием плазмы диэлектрического барьерного разряда. Длительность воздействия плазмы ДБР на НЧ варьировалась, таким образом, чтобы энергия, поглощаемая НЧ, соответствовала энергии, поглощенной гибридными фотокатализаторами Ag/ZnO в предыдущих экспериментах [2].

Детальное описание установки для создания плазмы диэлектрического барьерного разряда, схемы измерения электрических характеристик разряда, а также метод расчета значения эффективной энергии ( $E_{\text{eff}}$ ), поглощенной материалами за время обработки в плазме, приведены в [1, 2].

Для установления влияния плазмы на морфологию НЧ серебра были проведены модельные эксперименты, в которых коллоид серебра был нанесен на кварцевые пластины и после испарения жидких компонентов при комнатной температуре подвергнут воздействию плазмы ДБР в течение различных периодов времени, таким образом, чтобы диапазон изменения эффективной энергии  $E_{\text{eff}}$ , поглощенной Ag-НЧ, совпадал с диапазоном изменения эффективной энергии  $E_{\text{eff}}$ , поглощенной гибридными фотокатализаторами (Ag/ZnO), обрабатываемыми в предыдущих экспериментах [1, 2].

Коллоид наночастиц серебра синтезировали цитратным методом. Для этого в 50 мл водного раствора нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$  ( $C=10^{-3}$  М), нагретого до кипения, добавляли 1 мл 1% водного раствора цитрата натрия  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$ . Далее полученный раствор выдерживали 1 час при температуре кипения. Подробное описание метода приготовления коллоида наночастиц серебра можно найти в работах [1, 2].

Морфологию наночастиц исследовали методами спектрофотометрии и атомно-силовой микроскопии (АСМ).

На рисунке 1 представлены спектры поглощения Ag-НЧ, обработанных в плазме ДБР при различных значениях  $E_{\text{eff}}$ . Для проведения первых модельных экспериментов на кварцевую пластину наносили коллоид меньшей концентрации ( $10^{-5}$  моль), чем коллоид, используемый для приготовления катализаторов [1, 2].

В спектре необработанных наночастиц присутствуют две характерные полосы поглощения – вблизи 415 и 730 нм. Полоса вблизи 415 нм связана с плазмонным резонансом Ag-НЧ, поглощение вблизи 730 нм приписывают наличию агломератов НЧ [3, 4]. Коротковолновое поглощение вблизи 200 нм соответствует поглощению кластеров серебра [5]. Как видно из рисунка 1, при увеличении значения  $E_{\text{eff}}$  происходит уменьшение оптической плотности в области 700–800 нм, что свидетельствует об уменьшении количества агломератов. При значении  $E_{\text{eff}} = 153$  Дж в спектре присутствует только плазмонный резонанс Ag-НЧ и поглощение вблизи 200 нм. При дальнейшем увеличении значения  $E_{\text{eff}}$  в спектре поглощения не наблюдается характерных полос поглощения, ассоциированных с наночастицами.



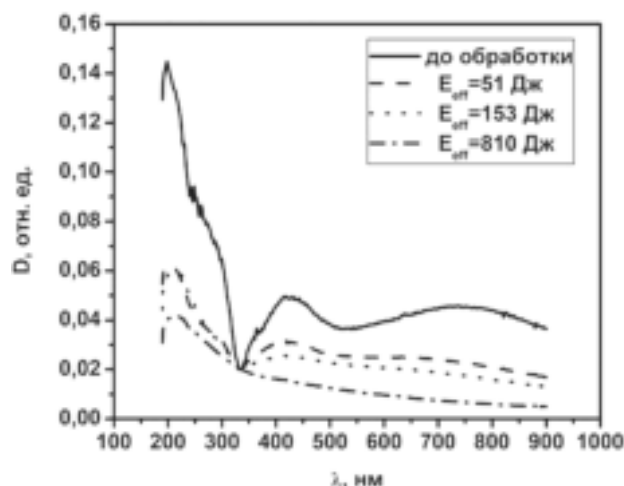


Рисунок 1 – Спектры поглощения Ag-НЧ, обработанных в плазме ДБР при различных значениях  $E_{\text{eff}}$

Таким образом, на основании анализа спектров поглощения Ag-НЧ, обработанных в плазме при различных значениях  $E_{\text{eff}}$ , можно прийти к заключению, что первоначально на поверхности необработанных образцов присутствуют как агломераты, так и отдельные наночастицы. Под действием плазмы число агломератов наночастиц уменьшается. При определенных значениях  $E_{\text{eff}}$  на поверхности остаются только неагломерированные наночастицы. Дальнейшее увеличение значения  $E_{\text{eff}}$ , видимо, приводит к разрушению наночастиц на кластеры.

Разрушение агломератов НЧ под воздействием плазмы подтверждено также исследованиями методом АСМ (рисунок 2).

На поверхности необработанного образца наблюдаются многочисленные агломераты высотой до 600 нм (рисунки 2 (а) и (б)). Плазменная обработка при значении  $E_{\text{eff}} = 153$  Дж приводит к частичному разрушению агломератов и появлению участков поверхности образца с большим числом изолированных наночастиц (рисунки 2 (в) и (г)). Однако, полного разрушения агломератов не происходит даже при увеличении значения  $E_{\text{eff}}$  до 810 Дж (рисунки 2 (д) и (е)). Из сравнения рисунков 2 ((а), (б)) и ((д) и (е)) можно сделать вывод, что воздействие плазмы приводит к изменению морфологии агломератов – вместо скопления большого числа частиц высотой до 600 нм на поверхности необработанного образца наблюдаются агломераты, состоящие из одной массивной частицы, окруженной отдельными наночастицами.

Из сравнения данных, приведенных на рисунках 1 и 2, следует, что в обработанном при  $E_{\text{eff}} = 810$  Дж образце содержание агломератов и изолированных НЧ существенно снижается, что и объясняет отсутствие в спектрах характерных полос поглощения.

Обработка катализаторов в плазме при значениях  $E_{\text{eff}}$ , при которых на поверхности наблюдаются преимущественно неагломерированные Ag-НЧ, очевидно, является оптимальной с точки зрения повышения каталитической активности образцов.

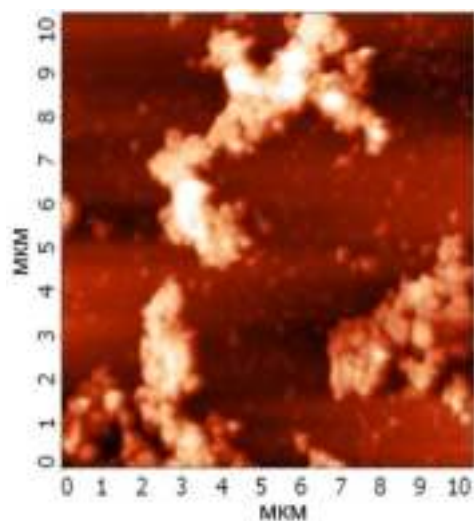
Так как приведенные выше результаты исследований получены при исследовании коллоидов меньшей концентрации, чем концентрация коллоидов, используемых при синтезе катализаторов, то значение  $E_{\text{eff}} = 153$  Дж нельзя считать соответствующим оптимальному режиму обработки катализаторов в плазме.

Для выявления особенностей влияния плазмы на морфологию наночастиц на исследованных катализаторах были проведены дополнительные модельные эксперименты. При этом коллоид Ag-НЧ также, как и в предыдущем эксперименте, наносили на кварцевую подложку, однако, концентрацию и количество нанесенного коллоида подбирали таким образом, чтобы концентрация Ag-НЧ на поверхности кварцевой пластины соответствовала поверхностной концентрации НЧ на исследованных ранее катализаторах. На рисунке 3 представлены спектры поглощения Ag-НЧ, концентрация которых на кварцевой подложке идентична поверхностной концентрации Ag/ZnO-катализаторов, до и после обработки в плазме ДБР при различных значениях  $E_{\text{eff}}$ , а также соотношение площадей под полосами поглощения вблизи 415 и 730 нм ( $S_{415}/S_{730}$ ) в зависимости от энергии обработки.

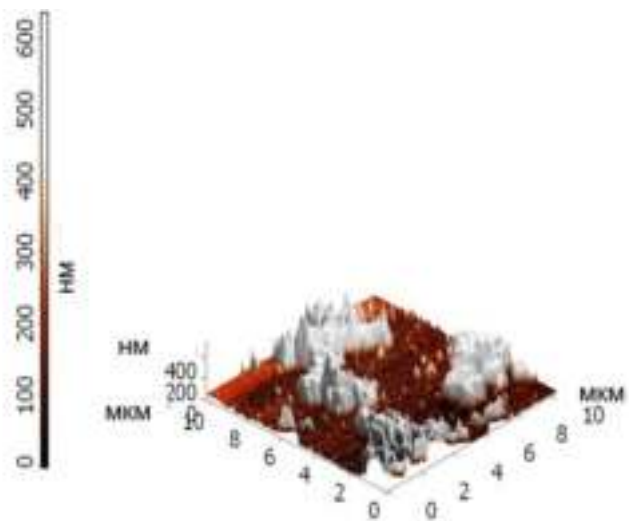
Увеличение значения  $E_{\text{eff}}$  приводит к уменьшению интенсивности обеих полос поглощения. Как видно из рис. 3 (а), в диапазоне энергий  $E_{\text{eff}}$  17000–22000 Дж поглощение, связанное с присутствием агломератов частиц, практически отсутствует. Соотношение площадей под полосами поглощения, соответствующим поглощению наночастиц и агломератов  $S_{415}/S_{730}$ , достигает максимального значения при значении  $E_{\text{eff}} \sim 20000$  Дж (рис. 3 (б)). Катализаторы Ag/ZnO, обработанные при таких значениях энергии, обладают наибольшей активностью [2]. При дальнейшем повышении энергии обработки  $E_{\text{eff}}$ , величина  $S_{415}/S_{730}$ , ассоциированная с соотношением концентраций наночастицы/агломераты НЧ, уменьшается. Вероятно, поэтому, несмотря на отсутствие агломератов, активность катализаторов снижается при  $E_{\text{eff}} = 30000$  Дж [2]. Можно предположить, что активность катализаторов зависит от двух конкурирующих факторов: наличие агломератов наночастиц ингибирует каталитическую активность материала, а присутствие на поверхности неагломерированных частиц ее повышает. Для наиболее активно-го катализатора соотношение концентраций наночастицы/агломераты наночастиц максимально.



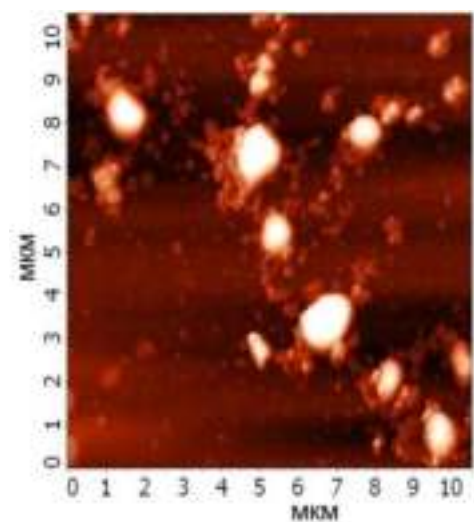
(а) Необработанный образец



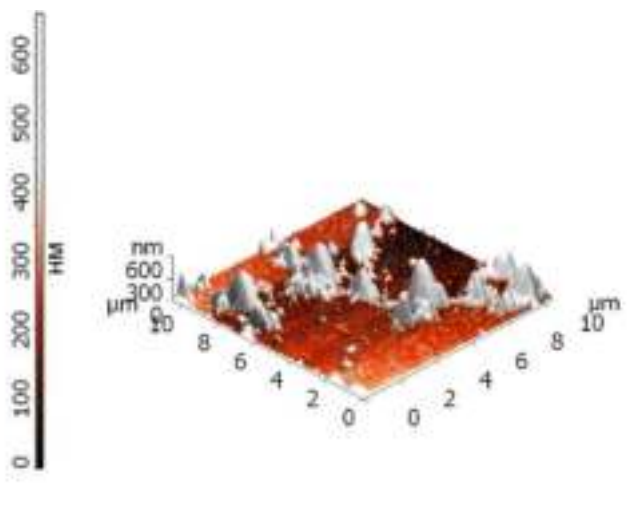
(б) Необработанный образец



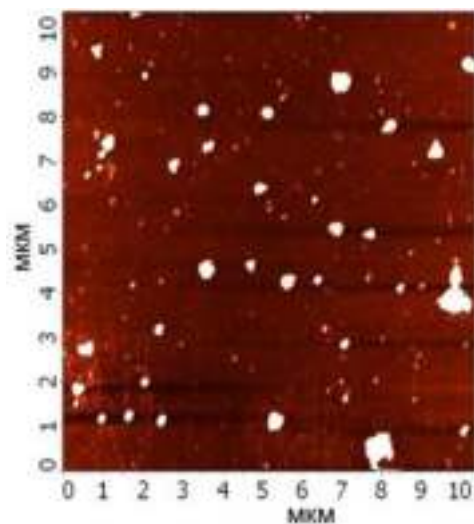
(в)  $E_{eff}=153$  Дж



(г)  $E_{eff}=153$  Дж



(д)  $E_{eff}=810$  Дж



(е)  $E_{eff}=810$  Дж

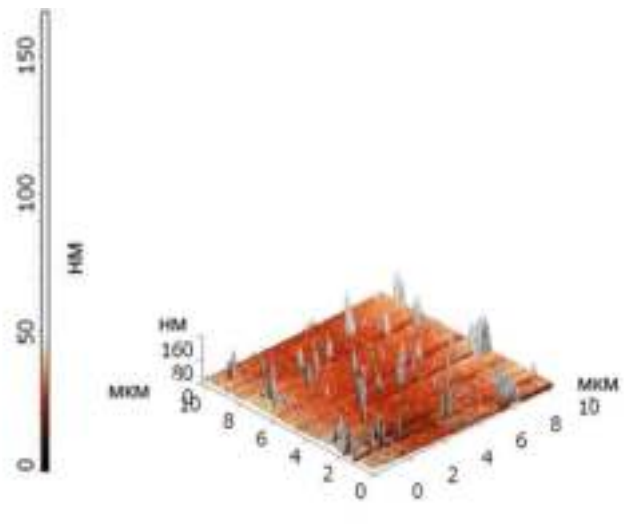


Рисунок 2 – АСМ изображения образцов Ag-Ni, обработанных в плазме ДБР при различных значениях  $E_{eff}$

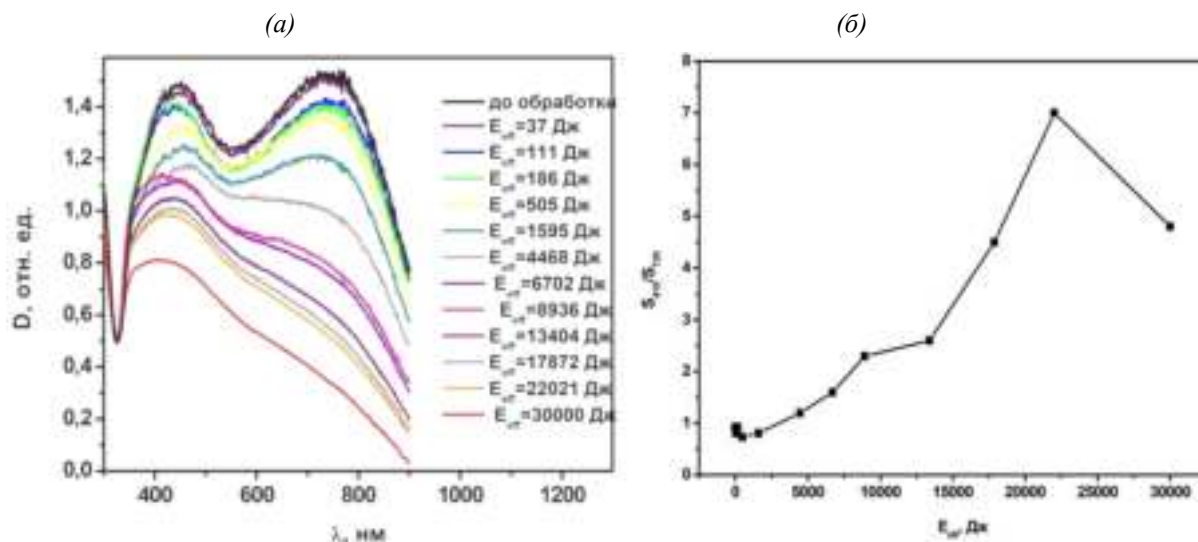


Рисунок 3 – Спектры поглощения Ag-NH<sub>4</sub>, концентрация которых на кварцевой подложке идентична поверхностной концентрации Ag/ZnO-катализаторов, до и после обработки в плазме ДБР при различных значениях  $E_{\text{eff}}$  (а) и соотношение площадей под полосами поглощения вблизи 415 и 730 нм в зависимости от энергии обработки (б)

Таким образом, результаты проведенных экспериментов по исследованию плазмоиндуцированного изменения морфологии наночастиц серебра, используемых для модификации катализаторов на основе ZnO, позволяют предположить, что влияние плазменной обработки, как фактора, повышающего активность гибридных катализаторов Ag/ZnO, содержащих плазмонные наночастицы, заключается в изменении морфологии наночастиц – а именно, в уменьшении числа агломератов наночастиц. Полученные результаты также позволяют определить критерии для выбора режима плазменной обработки, позволяющей повышать каталитическую активность гибридных катализаторов, содержащих плазмонные наночастицы. Для плазменной модификации гибридных катализаторов необходимо выбирать режимы плазменной обработки, соответствующие оптимальным значениям поглощенной образцом эффективной энергии, при которых возможно существенное снижение числа агломератов на поверхности катализатора при одновременном присутствии на поверхности максимально возможного числа отдельных изолированных наночастиц.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов». Исследования методом АСМ проведены на базе Центра коллективного пользования уникальным научным оборудованием «Белорусский межвузовский центр обслуживания научных исследований» физического факультета Белорусского государственного университета. Авторы благодарны сотрудникам Центра за предоставленную возможность использования оборудования Центра и проведение измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Effect of impregnation by silver nanoparticles on the efficiency of plasma-treated ZnO-based catalysts / N. A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2020. – V. 24. – № 1. – P. 21–45.
2. Effect of DBD-plasma treatment on activity of ZnO-based photocatalysts impregnated with silver nanoparticles / N. A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2022. – V. 26. – № 6. – P. 25–42.
3. Сидоров, А.И. Двойной плазмонный резонанс в сферических наноструктурах / А.И. Сидоров // ЖТФ. – 2006. – Т. 76. – № 4. – P. – 86–90.
4. Sastry, M. pH Dependent changes in the optical properties of carboxylic acid derivatized silver colloidal particles / M. Sastry, K.S. Mayya, K. Bandyopadhyay // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 1997. – Vol. 127. – № 1–3. – P. – 221–228.
5. Получение наночастиц серебра в водных растворах полиакриловой кислоты / Б.М. Сергеев [и др.] // Вестн. моск.ун-та. сер.2 химия. – 1999. – Т. 40. – № 2. – P. – 123–133.

# СО-ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ

## CO-TECHNOLOGY OF FUEL COMBUSTION ON GAS-OIL BOILERS

**В. И. Назаров<sup>1,2</sup>**

**V. I. Nazarov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
et@iseu.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Сжигание газомазутного топлива в котлах с регулирующим химнедожогом в балансовом сечении является перспективной энергосберегающей и экологической технологией, которая при минимальных капитальных вложениях имеет высокую эффективность (снижение выбросов оксидов азота 25–30 % и повышение КПД котла до 0,6 %). Данная технология легко реализуется на микропроцессорных регуляторах.

The combustion of gas and oil fuel in boilers with regulating incomplete combustion in the balance section is a promising energy-saving and environmental technology that, with minimal capital investment, has high efficiency (reducing nitrogen oxide emissions by 25–30 % and increasing boiler efficiency to 0,6 %). This technology is easily implemented on microprocessor controllers.

*Ключевые слова:* котлоагрегаты, газомазутное топливо, регулируемый химнедожог, КПД котла, окислы азота, оксид углерода.

*Keywords:* boiler unit, gas and oil fuel, regulating incomplete combustion, boiler efficiency, oxides of nitrogen, carbon oxide.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-29-32>

СО-технология сжигания газомазутного топлива на промышленных и энергетических котлах является перспективной энергосберегающей и экономичной технологией, которая при минимальных капитальных вложениях имеет высокую эффективность. Данная технология позволяет добиться экологического эффекта (снижение выбросов оксидов азота на 25-30%) при повышении КПД котлоагрегата.

Сущность СО-технологии заключается в поддержании в режимном сечении котла химического недожога на уровне 150-200 ppm СО путем регулирования расхода общего воздуха, подаваемого в топку котла. Для этого на котлоагрегатах устанавливается автоматическая система регулирования расхода общего воздуха (АСР РОВ), но не со стандартной коррекцией по кислороду ( $O_2$ ), а с коррекцией по химнедожогу, приведенного к оксиду углерода (СО).

Стандартная схема АСР РОВ имеет ряд недостатков. При появлении присосов, а также при нарушениях равномерной подачи воздуха и топлива критическое значение избыточного воздуха повышаются, в связи с этим изменяется оптимальное значение его избытка, что может привести к снижению КПД котлоагрегата. Так повышение присосов воздуха на 10%, которые не участвуют в процессе сжигания топлива, приводят к повышению концентрации  $O_2$  в режимном сечении на 2% об. и приводят к существенному снижению расхода воздуха в топку и, как следствие, к появлению значительного химического недожога топлива.

Химический недожог на газомазутных котлах появляется при избытке воздуха в топке  $\alpha_t < \alpha_{кр}$ . При чем оптимальный избыток воздуха в топке  $\alpha_{опт}$  практически совпадает с  $\alpha_{кр}$ . Поэтому процесс регулирования подачи воздуха нужно вести с максимально возможным приближением к  $\alpha_{кр}$  слева, то есть с определенной концентрацией оксида углерода в режимном сечении.

Данная технология, сжигания газомазутного топлива с регулируемым остаточным химическим недожогом в режимном сечении, позволяет добиться оптимального КПД котла с экологическим эффектом. В этом случае происходит снижение суммарной токсичности выбросов оксидов азота и оксида углерода (наиболее токсичным является оксид азота). На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость концентрации  $NO_x$  от концентрации СО в котле БКЗ-75-39 [1].

При поддержании в режимном сечении котла остаточного химнедожога (по  $CO=160$  ppm) для котла БКЗ-75-39, снижение выбросов  $NO_x$  составило 35 %, а повышение КПД составила 0,6 % при  $\alpha_t = 1,2$  [1].

Автоматическая система, регулирующая данную технологию, приведена на рис. 2.

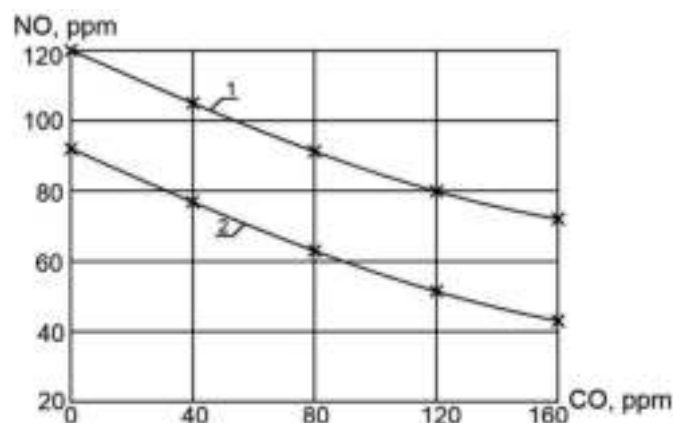


Рисунок 1 – Зависимость концентрации  $\text{NO}_x$  от концентрации  $\text{CO}$  в котле БКЗ-75-39. 1 –  $D_n = 76 \text{ т/ч}$ ; 2 –  $D_n = 61 \text{ т/ч}$

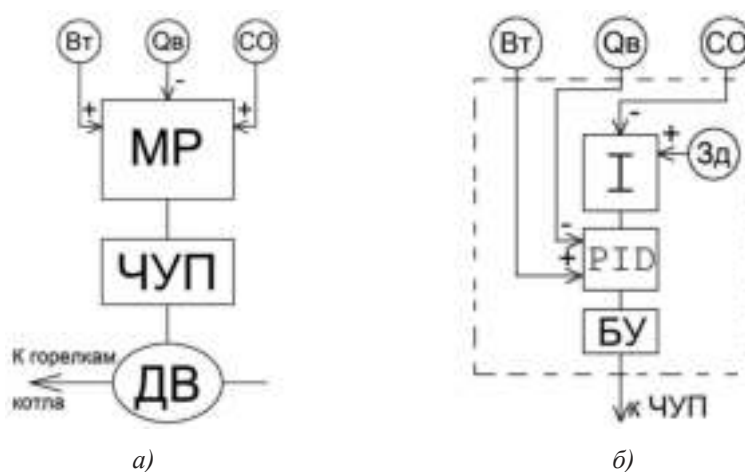


Рисунок 2 – АСР РОВ с регулируемым химнедожогом, где а – структурная схема; б – функциональная блок-схема;  $V_m, Q_v, \text{CO}$  – сигналы по расходу топлива, воздуха и концентрации  $\text{CO}$ ; МР – микропроцессорный регулятор; ЧУП – частотный управляемый привод; ДВ – дутьевой вентилятор; I – интегральный закон регулирования; PID – пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования; Зд – задатчик; БУ – блок управления, интегрированный в микропроцессорный регулятор

Для приведенной автоматической системы регулирования важным является выбор прибора газового анализа, который должен обладать высокой степенью чувствительности. Такое требование объясняется тем, что измеряемая концентрация оксида углерода при регулируемом недожоге в режимном сечении обычно лежит в пределах 50–200 ppm. Такой диапазон измерения объясняется различием в конструкции котлоагрегатов, особенно их горелочных аппаратов.

АСР РОВ с регулируемым химнедожогом является двухконтурной каскадной системой регулирования, содержащей стабилизирующий регулятор (PID – пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования) и корректирующий регулятор (I – интегральный закон регулирования). Для стабилизирующего регулятора объектом регулирования является участок воздушного тракта от дутьевого вентилятора до места измерения расхода воздуха. Этот участок мало информативный: запаздывание 2...5 с, а постоянная времени 10...15 с.

Для корректирующего регулятора объектом регулирования является участок, включающий замкнутую АСР стабилизации расхода воздуха и участок регулирования  $\text{CO}$  при возмущении расходом воздуха. Этот участок инерционный: запаздывание 15...25 с, а постоянная времени 50...70 с.

Для повышения точности поддержания концентрации оксида углерода в режимном сечении котла необходимо с приемлемой точностью измерять расход общего воздуха. Типовые средства измерения не подойдут для определения расхода воздуха. Среди существующих способов наиболее распространен способ измерения расхода воздуха по перепаду давлений воздухоподогревателя или его первой ступени, хотя при малых расходах воздуха перепад давлений становится соизмерим со значением пульсаций. Причем при измерении общего перепада давлений на воздухоподогревателе в нем не учитывается рециркуляция воздуха и отбор слабо подогретого воздуха.

При неудовлетворительных результатах измерения расхода воздуха по перепаду давлений на воздухоподогревателе необходимо использовать сигнал по давлению воздуха на выходе дутьевого вентилятора, хотя здесь тоже имеет место быть неточность измерений при перераспределении воздушных потоков при включении-



отключении горелок. И в этом случае необходимо проводить экспериментальный выбор места установки отборных устройств.

Экспериментально было установлено, что приемлемую точность измерения расхода воздуха дает усовершенствование расходомера типа Анньюбар, которые должны устанавливаться на всю высоту воздухопровода. При этом мы имеем достаточный перепад давлений  $\Delta P = P_n - P_c$ , где  $P_n$  – полное давление потока,  $P_c$  – статическое давление потока.

Часто для определения концентрации оксида углерода в режимном сечении котла используются термохимические газоанализаторы, преимущество которых является погружное газоотборное устройство. С другой стороны, эти газоанализаторы имеют ряд дополнительных погрешностей, которые приводят к некорректным измерениям оксидов углерода. К этим погрешностям в первую очередь относятся [2]:

- погрешность измерения концентрации CO от температуры в зоне чувствительности элемента, таблица 2.

Таблица 2

|                    |        |        |       |       |
|--------------------|--------|--------|-------|-------|
| $\Delta CO$ , % об | 0,0095 | 0,0085 | 0,006 | 0,002 |
| t, оС              | 100    | 150    | 200   | 250   |

- погрешность измерения концентрации CO от изменения коэффициента теплопроводности газовой смеси, таблица 3.

Таблица 3

|                                        |       |       |       |       |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta CO$ , % об                     | 0,004 | 0,008 | 0,012 | 0,017 |
| $\Delta \lambda \cdot 10^{-3}$ , Вт/мС | 2     | 4     | 6     | 8     |

- погрешность измерения концентрации CO от угла разворота датчика при установке в газоходе котла, таблица 4.

Таблица 4

|                    |                       |       |      |       |
|--------------------|-----------------------|-------|------|-------|
| $\Delta CO$ , % об | 0                     | 0,065 | 0,06 | 0,005 |
| $\varphi$ , °      | 0 (базовая установка) | 90    | 180  | 270   |

При монтаже и наладке системы регулирования с контролируемым химнедожогом необходимо учитывать следующее:

- наличие присосов воздуха непосредственно влияет на погрешность измерения оксида углерода, заборный зонд газоанализатора должен находиться от пристенной зоны на расстоянии не менее 1/3 диагонали режимного сечения котлоагрегата;

- для поддержания концентрации оксида углерода в режимном сечении на уровне 100-200 ppm необходимо осуществлять частотное регулирование производительности дутьевых вентиляторов. Применяемое в настоящее время регулирование расхода воздуха направляющими аппаратами не позволяет в полной мере реализовать преимущества АСР с контролируемым химнедожогом.

Необходимо отметить, что основной особенностью работы энергетических газомазутных котлов с малыми избытками воздуха является необходимость очень точного поддержания избытков воздуха не только по котлу в целом, но и по отдельным горелкам. Требования к равномерности распределения топлива и воздуха по горелкам достаточно высоки, например, при сжигании мазута с избытками воздуха 2–3 % в конце топки отклонение избытка воздуха в отдельные горелки от среднего по горелкам не должно превышать  $\pm 5\%$ , а для энергетических котлов большой мощности эти требования еще выше. Такие котлы должны эксплуатироваться с допустимыми отклонениями подачи мазута в каждую горелку  $\pm 1\%$  (от среднего значения), а расходов воздуха  $\pm 3\%$ .

Способ достижения равномерности распределения топлива и воздуха по горелкам существенно влияет на выбор системы автоматического регулирования в целом и системы погорелочного регулирования. То есть, система регулирования расхода общего воздуха с регулируемым химнедожогом должна быть двухступенчатой. При такой структуре верхний уровень системы регулирует общий расход воздуха на котел, а нижний уровень распределяет поступающий воздух равномерно по горелкам. Но такая структура регулирования становится статически не определенной (при заданном расходе общего воздуха, частота вращения дутьевых вентиляторов и положения индивидуальных заслонок горелок является произвольной). Чтобы избежать этого, необходимо подавать сигнал по оксиду углерода не только на основной регулятор, но и подавать его на индивидуальные регуляторы, обеспечивающие погорелочное регулирование.

В этом случае подача на общий регулятор и на индивидуальные регуляторы сигнала по оксиду углерода позволяет предотвратить срабатывание индивидуальных регуляторов в случае изменения концентрации оксида углерода (при правильной настройке отклонения сигнала по расходу воздуха к горелке, вызванное изменением расхода общего воздуха, должно компенсироваться отклонением корректирующего сигнала по оксиду углерода).



Надо отметить, что для повышения эффективности системы регулирования необходимо, чтобы погорелочные регуляторы работали в режиме периодического кратковременного включения для корректировки положения воздушных шиберов горелок. Такая схема регулирования нечувствительна к пульсациям, связанным с неравномерным забиванием регенеративных воздухоподогревателей.

Если процесс горения происходит при достаточно малых избытках воздуха без образования химнедожога, регулирование подачи воздуха в топку осуществляется только регулятором общего воздуха, воздействующим на частотный управляемый привод дутьевых вентиляторов. При появлении оксида углерода в режимном сечении котла в работу включаются регуляторы, осуществляющие погорелочное регулирование. Это позволит поддерживать концентрацию оксида углерода на уровне 100–200 ppm.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, В.И. Определение экспериментальной зоны регулируемого химнедожога / В.И. Назаров, В.Т. Малафей // Энергетика - Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – № 6. – С. 70–73.

2. Назаров, В.И. К вопросу погрешности измерения концентрации оксида углерода термохимическими сенсорами / В.И. Назаров // Энергетика - Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2007. – № 2. – С. 74–79.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ CHARACTERISTICS OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON AGRICULTURAL PRODUCTION

**Д. Д. Ленковец<sup>1,2</sup>, В. Д. Свирид<sup>1,2</sup>**  
**D. Lenkovets<sup>1,2</sup>, V. Svirid<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
Минск, Республика Беларусь  
dlenkovets132@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

Климатические факторы – одни из ключевых причин влияния на производство продукции сельского хозяйства. Они оказывают прямое воздействие на условие развития растений и их урожайность. С каждым годом все больше и больше аграриев сталкиваются с засухой на полях, уменьшением влаги в почве и рядом других причин, которые влияют на урожайность. Изучение влияния климатических факторов на продуктивность сельского хозяйства является актуальной задачей современной аграрной науки. Задача сельского хозяйства – обеспечить население продовольствием, сырьем для ряда отраслей промышленности и экспорт сельскохозяйственной продукции. В результате проведенных исследований показана положительная корреляция между погодными условиями благоприятными для вегетации зерновых сельскохозяйственных культур и их урожайностью [1].

Climatic factors are one of the key reasons for the impact on the production of agricultural products. They have a direct impact on the condition of plant development and their yield. Every year more and more farmers face drought in the fields, a decrease in soil moisture and a number of other reasons that affect yields. The study of the influence of climatic factors on agricultural productivity is an urgent task of modern agricultural science. The task of agriculture is to provide the population with food, raw materials for a number of industries and the export of agricultural products. As a result of the conducted research, a positive correlation was shown between weather conditions favorable for the vegetation of grain crops and their yield.

*Ключевые слова:* климатические факторы, удобрения, урожайность, последствия.

*Keywords:* climatic factors, fertilizers, yields, consequences.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-32-35>

Последствия изменения климата оказывают существенное влияние на сельское хозяйство, которое в значительной степени зависит от погодных и климатических условий, и, соответственно, на продовольственную безопасность

страны. Какими бы успешными ни были усилия по снижению выбросов парниковых газов в глобальном масштабе и какой бы ни оказалась в будущем действительная реализация сценариев глобального изменения климата, из-за отсроченных последствий выбросов парниковых газов его влияние в ближайшие десятилетия будет увеличиваться.

Никакая другая отрасль общественного производства не связана так с использованием природных ресурсов, как сельское хозяйство. Ведь труд земледельца и животновода – это по существу использование природы, окружающей нас естественной среды для удовлетворения потребностей человека. Сельское хозяйство необходимо рассматривать как огромный, постоянно действующий механизм охраны, культивирования живых природных богатств, и подходить к нему следует еще под одним углом зрения – охраны окружающей среды. Поэтому в условиях аграрного производства использование природных ресурсов и, прежде всего, земли должно сочетаться с мерами по охране окружающей среды. Эти загрязнения ведут к снижению плодородия почв и их продуктивности, ухудшению качества вод, атмосферы, наносят ущерб растениеводству и животноводству, что влечет недополучение сельскохозяйственной продукции и ухудшение ее качества. Экологические проблемы сегодня являются одними из наиболее важных и глобальных. В настоящее время во всем мире уделяется большое внимание изучению влияния климатических факторов на производство продукции сельского хозяйства. Потому что основная задача сельского хозяйства – обеспечить население продовольствием, сырьем для ряда отраслей промышленности [2].

Поэтому целью исследования было провести корреляционный анализ данных по действию климатических факторов на производство сельскохозяйственной продукции растениеводства.

В процессе исследования решались следующие задачи: оценить влияние климатических факторов на производство пшеницы, ячменя и рапса; провести оценку влияния внесения минеральных удобрений и климатических факторов на производство сельскохозяйственной продукции.

Исследования выполнены на базе открытого акционерного общества «Голоцк», которое расположено в Пуховичском районе Минской области. Данные об урожайности, количестве удобрений, качестве почв были получены на данном предприятии.

Почвы в хозяйстве в основном дерново-подзолистые, суглинистые, торфяно-болотные.

В качестве объекта исследования были использованы: пшеница озимая, ячмень и рапс.

Урожайность рассчитывали следующим образом: количество убранной культуры соотносили с единицей площади, с которой получили изучаемую культуру. Балл плодородия вычисляли методом Цинао. Этим методом оценивают кислотность почв, содержание гумуса, фосфора, калия, кальция, магния, основных микроэлементов, сумму поглощенных оснований и степень насыщенности почв основаниями.

Относительный балл плодородия почв рассчитывают по следующей схеме.

Определяют балл плодородия почв по каждому показателю (за исключением гидролитической кислотности и при pH выше оптимума) по формуле:

$$B_n = \frac{X}{A} \cdot 100,$$

где  $B_n$  – относительный балл показателя плодородия почв;

$X$  – фактическое значение агрохимического показателя;

$A$  – оптимальное значение агрохимического показателя [3].

Данные по климатическим факторам (количество солнечных дней и осадков) были взяты на сайте Белгидромета [4].

В результате проведенных исследований установлено, что в качестве азотных удобрений был использован – карбамид (мочевина), фосфорных – суперфосфат или аммофос, калийных удобрений – хлористый калий. Наибольшее количество удобрений было внесено в 2021 и 2022 годах. Однако самая высокая урожайность пшеницы озимой наблюдалась в 2022 году (59,9 ц/га). Самая высокая урожайность ячменя была в 2020 году (51,7 ц/га), рапса – в 2022 году (35,8 ц/га). Наиболее низкое внесение удобрений было проведено в 2017 году. Хотя в этом году была отмечена достаточно высокая урожайность зерновых. С каждым годом в наблюдаемый период количество вносимых удобрений увеличивалось (Рис.1).



Рисунок 1 – Зависимость урожайности от количества удобрений

На данной гистограмме показана как изменяется урожайность в зависимости от количества удобрений.

Более высокий балл плодородия сельхозугодий был отмечен в 2021 и 2022 году и составил 33,1 балла. А наиболее высокий показатель пашни в 2021 и 2022 году составлял 34.

Анализируя влияние погодных условий на урожайность было установлено, что за вегетационный период 2017 года – урожайность пшеницы озимой составила 56 ц/га, ячменя – 45,6 ц/га, рапса – 28,1 ц/га. Удобрений в этот год было внесено: азотных – 66,34 кг.д.в, фосфорных – 18,12 кг.д.в, калийных – 32 кг.д.в. По сравнению с другими годами было внесено наименьшее количество удобрений, а урожайность пшеницы озимой оказалась больше, чем в другие изучаемые годы при большем внесении удобрений. Хорошая урожайность отмечалась у ячменя и рапса. Вероятно, на урожайность повлияли погодные условия: достаточно высокая средняя температура (17,8°) и количество осадков (48 дней). Следовательно, при достаточно небольшом внесении удобрений и благоприятных погодных условиях можно получить хорошую урожайность сельскохозяйственных зерновых культур (Рис. 2).

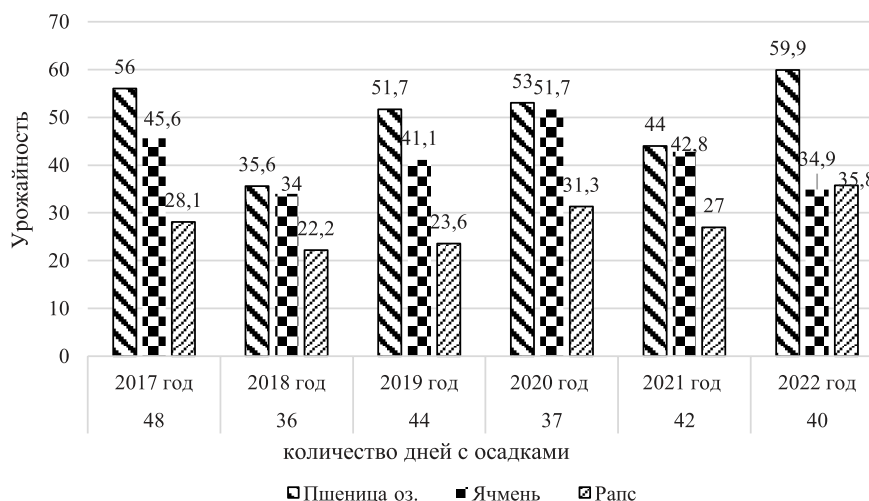


Рисунок 2 – Зависимость урожайности от количества осадков

На данной гистограмме показана как изменяется урожайность в зависимости от количества осадков.

По данным за 2018 год - урожайность пшеницы озимой составила 35,6 ц/га (по сравнению с 2017 – снизилась на 20,4 ц/га), ячменя – 34 ц/га (снизилась на 11,6 ц/га по сравнению с 2017 годом), рапса – 22,2 ц/га (в сравнении 2017 годом – снизилась на 5,9 ц/га). Удобрений в этот год было внесено: азотных – 80,2 кг.д.в (на 13,86 кг.д.в. больше, чем в 2017), фосфорных – 28,2 кг.д.в (на 10,08 кг.д.в. больше в сравнении с 2017 годом), калийных – 57,7 кг.д.в. (больше на 27,7 ц/га, чем в 2017 году). По сравнению с 2017 годом было внесено большее количество удобрений, а урожайность всех культур самая низкая, по сравнению с другими годами. Следовательно, на этот показатель повлияли погодные условия: было мало осадков в апреле (3 дня) и мае (3 дня) и большое количество солнечных дней (40 дней за весь вегетационный период).

В 2019 году урожайность пшеницы озимой составила 51,7 ц/га (на 16, 1 ц/га увеличилась с 2018 годом), ячменя – 41,1 ц/га (увеличилась на 7,1 ц/га по сравнению с 2018 годом), рапса – 23,6 ц/га (на 1,4 ц/га увеличилась в сравнении с 2018 годом). Удобрений в этот год было внесено: азотных – 82,2 кг.д.в. (на 2 кг.д.в. больше, чем в 2018 году), фосфорных – 25,9 кг.д.в.(меньше на 2,3 кг.д.в, чем в 2018 году), калийных – 70,1 кг.д.в. (на 12,4 кг.д.в больше с 2018 годом). По сравнению с 2017 и 2018 годами возросло количество азотных и калийных удобрений, а фосфорных незначительно уменьшилось. На урожайность повлияли погодные условия: отмечалось достаточное количество дней с осадками (44), по сравнению с 2018 годом. Особенно в начальный период вегетации.

Урожайность в 2020 году была наиболее высокой - пшеницы озимой составила 53 ц/га (увеличилась на 1,3 ц/га), ячменя – 51,7 (увеличилась на 10,6 ц/га), рапса – 31,3 ц \га (увеличилась на 7,7 ц/га). Внесение удобрений в этот год было больше по сравнению с 2017- 2019 годами под все культуры. Погодные условия в период вегетации сельскохозяйственных культур соответствовали климатическим характеристикам данного региона – было достаточно дней как с осадками (37 дней за период вегетации), так и солнечных (33 дня в период вегетации), облачных – 113 дней за время вегетации. Следовательно, на увеличение урожайности повлияли погодные условия и повышенное внесение, по сравнению с другими годами, азотных и калийных удобрений.

Оценивая урожайность названных выше культур в 2021 году было установлено, что урожайность пшеницы озимой составила 44 ц/га (уменьшилась на 9 ц/га с 2020 годом сравнивая), ячменя – 42,8 ц/га (уменьшилась на 8,9 ц/га по сравнению с 2020 годом), рапса – 27 ц \га (уменьшилась на 4,3 ц/га в сравнении с 2020 годом). Азотных и фосфорных удобрений в этот год было внесено немного больше по сравнению с 2017- 2020 годами, а калийных – меньше. Можно заключить, что на снижение урожайности повлияли погодные условия: наблюдалось меньшее количество солнечных дней (32 дня) и высокая средняя температура (18,5°).

В 2022 году урожайность пшеницы озимой составила 59,9 ц/га (увеличилась на 15,9 ц/га по сравнению с 2021 годом), ячменя – 34,9 (уменьшилась на 7,9 ц/га в сравнении с 2021 годом), рапса – 35,8 ц \га (увеличилась на 8,8 ц/га с 2021 годом если сравнивая). Азотных, фосфорных и калийных удобрений в этот год было внесено

немного больше по сравнению с 2017- 2021 годами: азотных (2022 год – 110,1 кг.д.в., 2021 – 99,9 кг.д.в.), фосфорных (2022 год – 33,2 кг.д.в., в 2021 – 31,9 кг.д.в.), калийных (2022 год – 91,7 кг.д.в., 2021 – 78,4 кг.д.в.). Следовательно, на повышение урожайности пшеницы озимой и рапса повлияла благоприятная погода: больше солнечных дней (42 дня), меньше дней с осадками (40 дней) и меньше облачных дней (99 дней) по сравнению с 2021 годом. На снижение урожайности ячменя повлияла более низкая средняя температура ночью (9,7°) в сравнении с 2021 (10,5°). Так как ячмень относится к яровым культурам, низкие ночные температуры замедлили вегетацию в начальный период, в результате это повлияло на снижении урожайности, в отличие от озимых культур (пшеница и рапс). Они благоприятнее переносят холод, что повлияло на более высокую урожайность.

Анализируя среднюю температуру и количество солнечных дней за период вегетации было отмечено, что самая высокая средняя температура днём наблюдалась в 2018 году. Она составила 20,5°, а самая низкая в 2017 – 17,8°. Самая высокая средняя температура ночью была в 2018 году – 12°, а самая низкая – в 2022 году – 9,7°. Наибольшее количество солнечных дней было в 2018 и 2019 годах. Их количество составило 40 дней, а наименьшее – в 2021 – 32. Количество дней с осадками было в 2017 году составило – 48 дней. Наименьшее – в 2018 году и составило 36 дней. Наибольшее количество облачных дней было в 2020 году и составило 113 дней. В 2019 году облачных дней было 99.

**Выводы.** Суммируя изложенное выше можно заключить, что на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают влияния погодные условия и количество внесённых удобрений. В 2017 году отмечено, что при меньшем внесении удобрений – урожайность оказалась достаточно высокой. А вот в 2018 году при значительно большем внесении удобрений - урожайность резко падает. В 2019 и 2020 удобрений вносили немного больше и урожайность увеличивалась. Прослеживается корреляция, что при большом внесении удобрений - урожайность наблюдается выше. Установлено, что на урожайность оказывают влияния не только внесение удобрений, но и погодные условия. В 2021 году удобрений вносили на уровне 2020 года, но урожайность снижается. Из этого можно сделать вывод, что на урожайность повлияла жаркое и засушливое лето 2021 года. В 2022 году на повышение урожайности пшеницы озимой и рапса повлияла благоприятная погода: больше солнечных дней, меньше дней с осадками и меньше облачных дней по сравнению с 2021 годом. На снижение урожайности ячменя повлияла более низкая средняя температура за ночь (9,7°) в сравнении с 2021 годом. Таким образом, можно проследить положительную корреляцию между погодными условиями благоприятными для вегетации зерновых сельскохозяйственных культур и их урожайностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мельник, В.И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: Автореф. дис. д-ра геогр. наук: 25.00.23/ В.И. Мельник. – Минск, 2004. – 21 л.
2. Солдатов, В.В. Об удобрении почвы / В.В. Солдатов. - М.: ЁЁ Медиа, 2013. - 139 с.
3. Турчин, Ф.В. О природе действия удобрений / Ф.В. Турчин. - М.: ЁЁ Медиа, 2010. - 849 с.
4. Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belgidromet.by/>. – Дата доступа: 22.02.2023.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АВИАЦИОННОГО ШУМА НА ПРИАЭРОДРОМНОЙ ТЕРРИТОРИИ В Г. КОРЕНОВСКЕ RESEARCH OF AIRCRAFT NOISE IN THE AERODROME TERRITORY IN KORENOVSK

**Е. А. Сироштаненко, С. Н. Болотин**  
**E. A. Siroshstanenko, S. N. Bolotin**

*Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия*  
*bolotka@list.ru*  
*Kuban State University, Krasnodar, Russia*

В данной работе получены данные по авиационному шуму на территории жилой застройки вблизи аэродрома в г. Кореновск, Краснодарский край, Россия.

In this work, data on aviation noise in the residential area near the airfield in Korenovsk, Krasnodar Krai, Russia were obtained.

*Ключевые слова:* шумовое загрязнение, авиационный шум, уровень шума.

*Keywords:* noise pollution, aviation noise, noise level.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-35-38>



Рост и развитие производственных мощностей, внедрение новых технологий и транспортных средств привело к тому, что человек постоянно подвергается воздействию шума, превышающего допустимые нормы. В том числе это относится и к авиационному шуму. Многие населенные пункты находятся вблизи аэродромов, где осуществляются взлетно-посадочные операции воздушных транспортных средств, которые являются мощными источниками шумового загрязнения для прилегающих территорий, что может приводить к неблагоприятным последствиям для здоровья населения.

Объектом исследования авиационного шума является территория, прилегающая к аэродрому в г. Кореновск, Краснодарский край.

Измерения уровня шума проводились в период с 21.06.2022 г. по 22.06.2022 г. в дневное время с 15:00 по 18:00 и в вечернее 21:00 по 23:00. Замеры производились при помощи шумомера «АССИСТЕНТ» БВЕК.4381-005-18446736-08.

Для уточнения натуральных уровней шума на территории объекта выбрано четыре контрольные точки (таблица 1) натуральных замеров. Определение эквивалентного уровня звука  $L_{A_{экв}}$  от воздушных судов на основании натуральных замеров проведено в соответствии с Приложением А к ГОСТ 22283-2014 [1], ГОСТ 23337-2014 [2] и Приказом Роспотребнадзора от 07.12.2022 N 664 [3].

Таблица 1

*Перечень координат точек замеров в системе МСК-23, Зона 1*

| Точка замеров | Координаты, МСК-23, Зона 1 |             |
|---------------|----------------------------|-------------|
|               | X, м                       | Y, м        |
| 1             | 525776.717                 | 1412175.546 |
| 2             | 525885.955                 | 1413135.334 |
| 3             | 524607.003                 | 1415760.513 |
| 4             | 524401.675                 | 1415443.199 |

Измерения проводятся в условиях нормальной деятельности аэродрома в периоды наиболее интенсивного движения и при полетах воздушных судов (ВС) наиболее шумных типов в точках, расположенных в характерных местах существующей или планируемой жилой застройки вблизи маршрутов движения ВС.

Соответствие требованиям пункта 3.3 ГОСТ 22283-2014 определяют по результатам не менее чем трех непосредственных измерений в дневной и ночной периоды с последующим осреднением. При определении эквивалентных уровней звука допускается применять приближенные методы расчета, приведенные в Приложении А к ГОСТ 22283-2014.

Измерения шума проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 23337-2014 на открытых площадках (вне звуковой тени) или на расстоянии не менее 2 м от отражающих конструкций зданий.

Результаты измерений натуральных уровней шума сведены в таблицу 2. На основании данных о полетах воздушных судов в соответствии с формулой (1) были рассчитаны натурные уровни авиационного шума от различных типов воздушных судов.



*Рисунок 1 – Точки натуральных замеров*



Проводится расчет эквивалентного уровня шума авиационного источника на основе полученных значений среднего максимального уровня шума  $L_{AS\max i}$  в соответствии с формулой (2), неопределенности результатов измерений, среднего эффективного времени звучания  $T_{эф}$  по формуле (1).

$$L_{A\text{экв}} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_{эф} 10^{0.1(L_{AS\max i} + U(95\%))} \right), \quad (1)$$

где  $T$  – регламентируемый интервал времени, равный 16 часов (57600 с) дневного времени и (или) 8 часов (28800 с) ночного времени суток;  
 $N$  – количество ВС, соответствующее среднегодовому летному дню и перспективной интенсивности полетов, характерное для исследуемого маршрута(ов);  
 $L_{AS\max i}$  – средний максимальный уровень шума;  
 $T_{эф}$  – среднее эффективное время звучания.

Проводится расчет Среднего максимального уровня шума  $L_{AS\max}$  по формуле (2)

$$L_{AS\max} = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 + L_{AS\max i}} \right), \quad (2)$$

где  $N$  – количество зафиксированных шумовых событий;  
 $L_{AS\max i}$  – максимальный уровень шума  $i$ -го события – пролета воздушного судна.

Проводится расчет расширенной неопределенности измерений  $U$  (95 %) для максимальных значений уровня шума при разовых пролетах ВС. Расчет расширенной неопределенности осуществляется по разделу 9 к ГОСТ 23337-2014.

Расширенную неопределенность измерений  $U(N)$ , дБА (дБ), определяют по формуле (3)

$$U(N) = ku, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент охвата для данного уровня доверия  $N$  ( $k = 1,65$ );  
 $u$  – стандартная неопределенность измерений, дБА (дБ).

Расширенную неопределенность измерений  $U$  (95%), дБА (дБ), для уровня доверия 95% рассчитывают по формуле (4)

$$U(95\%) = 2 \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (4)$$

Для полученной серии измерений в данной точке измерения оценивают неопределенность по типу  $A$   $u_A$ , дБА, связанную с погрешностями методики измерений и влиянием факторов окружающей среды, по формуле (5)

$$u_A = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{Aeq})^2}{n(n-1)}, \quad (5)$$

Затем оценивают неопределенность по типу  $B$   $u_B$ , дБА, обусловленную инструментальной погрешностью (измерительные приборы, погрешность калибровки и т. п.), по формуле (6)

$$u_B = \frac{\Delta L_{\text{инстр.}}}{\sqrt{3}}, \quad (6)$$

где  $\Delta L_{\text{инстр.}}$  – инструментальная погрешность измерений уровня звука (уровней звукового давления), дБА (дБ), определяется в соответствии с Руководством по эксплуатации шумомера или другого применявшегося для измерений прибора.

На основе данных о значениях среднего максимального уровня шума  $L_{AS\max i}$  и расширенной неопределенности измерений  $U(N)$  рассчитывается эквивалентный уровень шума по формуле 1.

Проводится расчет эквивалентного уровня средневзвешенного суточного шума  $L_{A\text{дн}}$  по формуле (7):

$$L_{A\text{дн}} = 10 \lg \frac{1}{24} (16 \cdot 10^{0.1 \cdot L_{A\text{экв день}}} + 8 \cdot 10^{0.1 \cdot (L_{A\text{экв ночь}} + 10)}), \quad (7)$$

где  $L_{A\text{экв день}}$  – эквивалентный 16-ти часовой уровень дневного шума, определенный по формуле 1 (таблица 2), дБА;  
 $L_{A\text{экв ночь}}$  – эквивалентный 8-ми часовой уровень ночного шума, определенный по формуле 1 (таблица 2), дБА.

В данной работе были проведены измерения авиационного шума на приаэродромной территории аэропорта в г. Кореновске.

На основе измерений были получены следующие результаты:

- 1) в точке 1 показатели  $L_{A\text{экв день}}$  и  $L_{A\text{экв ночь}}$  превышают норму в 55 дБ и 45 дБ соответственно;
- 2) в точке 2 показатели  $L_{A\text{экв день}}$  и  $L_{A\text{экв ночь}}$  превышают норму в 55 дБ и 45 дБ соответственно;
- 3) в точке 3 показатели  $L_{A\text{экв день}}$  и  $L_{A\text{экв ночь}}$  превышают норму в 55 дБ и 45 дБ соответственно;
- 4) в точке 4 показатели  $L_{A\text{экв день}}$  и  $L_{A\text{экв ночь}}$  превышают норму в 55 дБ и 45 дБ соответственно.

Сводная таблица с результатами

| № точки | Тип воздушного судна | Тип маневра | $U(N)$ | $L_{АС\max}$ | $L_{АЭ\text{кв}} \text{ день}$ | $L_{АЭ\text{кв}} \text{ ночь}$ | $L_{Адн}$ |
|---------|----------------------|-------------|--------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
| Т.1.    | МИ-28                | взлет       | 1,4    | 94,1         | 69,8                           | 66,8                           | 73,5      |
|         | МИ-28                | посадка     | 1,1    | 89,6         |                                |                                |           |
|         | МИ-8                 | взлет       | 1,3    | 84,3         |                                |                                |           |
|         | МИ-8                 | посадка     | 1,3    | 86,9         |                                |                                |           |
| Т.2.    | МИ-28                | взлет       | 0,5    | 84,5         | 63,9                           | 60,9                           | 67,6      |
|         | МИ-28                | посадка     | 0,9    | 82,4         |                                |                                |           |
|         | МИ-8                 | взлет       | 0,9    | 83,7         |                                |                                |           |
|         | МИ-8                 | посадка     | 0,9    | 81,8         |                                |                                |           |
| Т.3.    | МИ-8                 | пролет      | 0,6    | 77,8         | 58,4                           | 55,4                           | 62,1      |
|         | МИ-28                | пролет      | 0,8    | 81,9         |                                |                                |           |
|         | КА-52                | пролет      | 1,7    | 77,3         |                                |                                |           |
| Т.4.    | МИ-8                 | пролет      | 0,8    | 80,6         | 58,4                           | 55,4                           | 62,1      |
|         | МИ-28                | пролет      | 0,7    | 81,4         |                                |                                |           |
|         | КА-52                | пролет      | 1      | 72,3         |                                |                                |           |

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 22283-2014 Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения.
2. ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.
3. Приказ Роспотребнадзора от 07.12.2022 N 664 «Об утверждении методики установления седьмой подзоны приаэродромной территории, расчета и оценки рисков для здоровья человека».

**ПЕРЕРАБОТКА ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ НА СТАДИИ  
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ  
CUTTING RESIDUE PROCESSING AT THE HARVESTING STAGE**

***М. А. Зырянов, С. О. Медведев***  
***М. A. Zyryanov, S. O. Medvedev***

*Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Лесосибирск, Российская Федерация*  
*medvedev\_serega@mail.ru*

*Lesosibirsk branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Lesosibirsk, Russian Federation*

В научной работе дана характеристика процессу развития лесопромышленного комплекса. Выполнена оценка процесса использования всей биомассы дерева. Приведены результаты анализа объемов неиспользуемой части биомассы дерева в виде таких отходов лесозаготовок как ветви, ветки и сучья. Обоснована целесообразность переработки ветвей, веток и сучьев. Установлена причина отсутствия на сегодняшний день интереса к отходам лесозаготовок как к дополнительной сырьевой базе для производства различного вида продукции деревоперерабатывающих предприятий. Представлены технология и система машин позволяющие перерабатывать отходы в условиях лесозаготовительных работ в хвойную и древесную муку, технологическую щепу и древесноволокнистый полуфабрикат. Выполнен анализ эффективности предлагаемого подхода к вопросу комплексного использования биомассы дерева.

In the scientific work, a characteristic to the process of development of the timber industry complex is given. An assessment of the process of using the entire biomass of a tree is made. The results of the analysis of the volumes of the unused part of the tree biomass in the form of such logging waste as branches, twigs and hag are presented.

The expediency of processing branches, twigs and hags is substantiated. The reason for the current lack of interest in logging waste as an additional raw material base for the production of various types of products of wood processing enterprises has been established. A technology and a system of machines are presented that allow processing waste in the conditions of logging operations into coniferous and wood flour, technological chips and wood-fiber semi-finished product. An analysis of the effectiveness of the proposed approach to the issue of the integrated use of wood biomass has been carried out.

*Keywords:* logging residues, logging, wood biomass, waste, ecology.

*Ключевые слова:* порубочные остатки, лесозаготовка, биомасса дерева, отходы, экология.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-38-41>

Согласно Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года утвержденной распоряжением Премьер-министра России №312р от 11.02.2021г., вклад лесной отрасли в экономику страны должен увеличиться вдвое, в том числе и за счет развития глубокой переработки древесины. С этой целью, активное развитие получают предприятия по глубокой переработке древесного сырья для изготовления целлюлозы и древесных плит. В условиях развития таких производств будет несомненно возникать дефицит древесного сырья, что приведет к острой потребности в расширении сырьевой базы предприятий глубокой переработки древесины. Несмотря на это, в настоящее время реализуется не более 50 % древесины заготовленной биомассы дерева. Значительная часть потенциального сырья для деревоперерабатывающих предприятий остается на лесосеке для дальнейшего перегнивания или утилизации по средствам сжигания. Сегодня пристальное внимание не только лесозаготовителей Красноярского края, но и всего лесопромышленного комплекса сконцентрировано только на переработке отходов лесопиления, тогда как отходы лесозаготовок можно и нужно использовать в качестве дополнительного сырья для предприятий глубокой переработки древесины. Доминирующей причиной отсутствия интереса к отходам лесозаготовок является слабо развитое направление научных исследований процессов и явлений, имеющих место при переработке древесного сырья в виде ветвей, веток и сучьев в древесноволокнистый полуфабрикат непосредственно в условиях лесозаготовок. При этом, необходимо понимать, что древесина веток, ветвей и сучьев имеет некоторое отличие в строении от стволовой части дерева. Широко используемые на сегодняшний день при разработке технологий и деревоперерабатывающего оборудования научные основы переработки стволовой части древесины не учитывают в полной мере как особенности строения отдельных частей биомассы дерева, так и требования к конструкции оборудования которое должно работать в условиях лесозаготовительных работ.

В ходе реализации исследований по данной тематике была разработана технология и система машин. На рис. 1 представлена разработанная технологическая схема переработки отходов лесозаготовок.



- 1 – транспортно–сортировочная машина на базе форвардера; 2 – мобильная окорочная машина;  
3 – мобильная рубительная машина; 4 – мобильная линия по производству древесноволокнистого полуфабриката; 5 – мобильная ножевая установка для производства хвойно-витаминной муки;  
6 – мобильная ножевая установка для производства древесной муки

*Рисунок 1 – Технологическая схема переработки отходов лесозаготовок*

Как видно из технологической схемы, в первую очередь осуществляется сбор, разделение, сортировка и транспортировка порубочных остатков на промежуточный или нижний склад. Для сбора, сортировки и транспортировки порубочных остатков используется транспортно–сортировочная машина на базе форвардера 1 с модернизированным прицепом, имеющим авторское свидетельство на изобретение № 2015152472. Уменьшение длины древесного сырья достигается применением конструкции механизма, с гильотинным ножом, установленным на манипулятор форвардера. Модель модернизированного форвардера представлена на рис. 2.

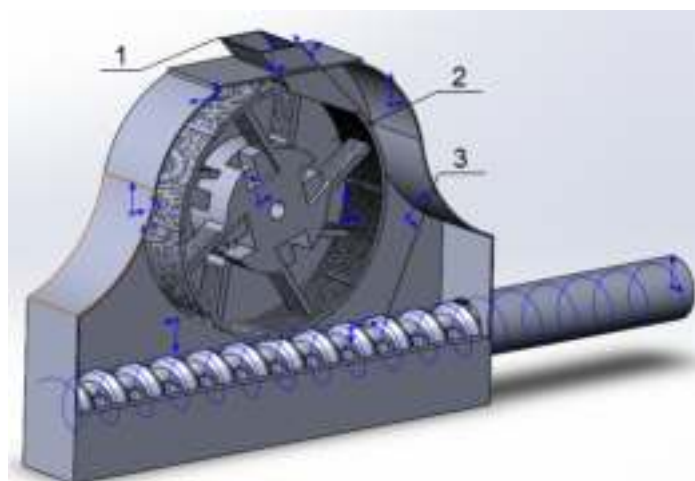


1 – базовая машина; 2 – модернизированный прицеп; 3 – грейферный захват с гильотинным ножом

*Рисунок 2 – Модель модернизированного форвардера*

Разделенные по породам и геометрическим размерам ветви, ветки и сучья поступают в мобильную окорочную машину 2. При помощи мобильной рубительной машины 3 окоренная древесина перерабатывается в технологическую щепу. Технологическая щепа, полученная из сортированных порубочных остатков, направляется на мобильную линию по производству древесноволокнистого полуфабриката по средствам размола в аэродинамической среде при помощи роторно-ножевой установки, имеющей авторское свидетельство на изобретение № 2673858 с последующим отжимом и упаковыванием 4.

На рис. 3 представлена модель роторно-ножевой установки.



1 – загрузочный патрубок; 2 – рабочая камера; 3 – выносной шнек

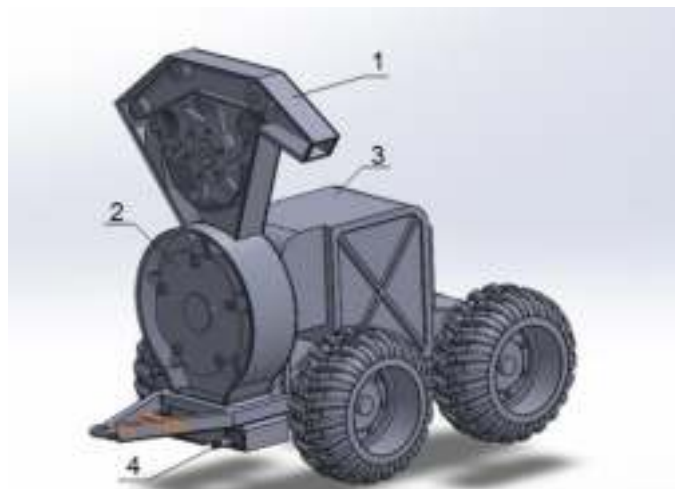
*Рисунок 3 – Модель роторно-ножевой установки*

Древесная зелень хвойных пород поступает на мобильную ножевую установку для производства хвойно-витаминной муки 5, имеющая авторское свидетельство на изобретение № 2698059.

На рис. 4 представлена модель мобильной установки для производства хвойно-витаминной муки из древесной зелени хвойных пород.

Древесина после отделения хвои и не переработанные в щепу сортированные ветки, ветви и сучья поступают в мобильную ножевую установку 6 для производства древесной муки.

В ходе исследований разработаны научные основы процесса эффективной переработки биомассы дерева. Научно обоснованные и экспериментально подтвержденные теоретические аспекты для проектирования энергоэффективных, ресурсосберегающих, мобильных конструкций машин для переработки биомассы дерева в древесноволокнистый полуфабрикат с учетом особенностей строения древесины. Разработанные конструкции оборудования на базе сформированных научных основ процесса переработки отходов лесозаготовок позволяют увеличить долю перерабатываемого древесного сырья. Внедрение предложенных эффективных деревоперерабатывающих машин повысит долю заготавливаемого и перерабатываемого сырья с единицы площади, снизит экологическую нагрузку на окружающую среду от лесозаготовительного процесса, повысит эффективность отрасли в целом.



1 – модуль отделения хвои; 2 – модуль измельчения хвои; 3 – модуль вакуумного упаковывания; 4 – приводной вал

*Рисунок 4 – Модель мобильной установки для производства хвойно-витаминной муки из древесной зелени хвойных пород*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках научного проекта № 2022052708731.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курасов А.А. Рациональное и эффективное использование отходов лесосеки, лесозаготовки, деревообработки и переработки как фактор повышения рентабельности предприятия / А.А. Курасов // Апрельская научно-практическая конференция молодых учёных. Дальневосточный федеральный университет, Школа экономики и менеджмента. Владивосток, 2020. С. 854-864.
2. Садртдинов А.Р. Перспективные направления переработки неликвидной древесной биомассы лесозаготовок и деревообработки / А.Р. Садртдинов, Л.М. Исмагилова, Р.Р. Мухаметзянов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2–3 (7–3). С. 117–119.
3. Medvedev S.O. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use / S.O. Medvedev, M.A. Zyryanov, A.P. Mokhirev, O.A. Kunitskaya, R.V. Voronov, T.N. Storodubtseva, O.I. Grigorieva, I.V. Grigorev // Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. 2022. Т. 17. № 5. С. 745–752.
4. Тунцев Д.В. Современные направления переработки древесной биомассы / Д.В. Тунцев, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, А.С. Савельев, И.С. Романчева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2–1 (13–1). С. 464–468.
5. Zyryanov M. Study of the possibility of using logging residue for the production of wood processing enterprises / M. Zyryanov, S. Medvedev, A. Mokhirev // Journal of Applied Engineering Science. 2020. Т. 18. № 1. С. 15–18.



**ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМОИНДУЦИРОВАННОЙ МОДИФИКАЦИИ  
КАТАЛИЗАТОРОВ НА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИЯХ  
ФОТОДЕГРАДАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ**

**EFFECT OF THE PLASMA-INDUCED MODIFICATION  
OF CATALYSTS ON THE CATALYTIC PERFORMANCE  
IN THE PHOTODEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS IN AQUEOUS MEDIA**

**Н. А. Савастенко<sup>1</sup>, А. В. Медведский<sup>1</sup>,  
В. А. Люшкевич<sup>2</sup>, И. И. Филатова<sup>2</sup>, С. А. Маскевич<sup>1</sup>**  
**N. A. Savastenko<sup>1</sup>, A. V. Miadzvetski<sup>1</sup>, V. A. Lyushkevich<sup>2</sup>,  
I. I. Filatova, S. A. Maskevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт  
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nataliesavastenko@iseu.by

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь,

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

Проанализирована эффективность использования неравновесной плазмы диэлектрического барьерного разряда (ДБР) и высокочастотного разряда (ВЧ) для повышения активности фотокатализаторов на основе ZnO и TiO<sub>2</sub> в реакциях фотодегradации метилового оранжевого (МО), амоксициллина и кофеина. ДБР создавался в воздухе при нормальном давлении. ВЧ-разряд – при пониженном давлении (15 Па) в атмосфере аргона или смеси аргон-аллиловый спирт. Плазма ВЧ-разряда была использована для плазмо-химической полимеризации, при этом аргон был использован в качестве газа-носителя, а аллиловый спирт в качестве прекурсора. Фотокаталитическая активность катализаторов оценивалась в реакциях фотодегradации МО как модельного вещества для азо-класса загрязнителей, а амоксициллина и кофеина как модельных веществ для фармацевтических загрязнителей. Активность катализаторов оценивали по значениям констант реакций фотодегradации.

The efficiency of using non-equilibrium dielectric barrier discharge (DBD) and radio frequency (RF) discharge plasma was analyzed from the point of view of improving the ZnO- and TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts performance in heterogeneous photocatalytic degradation of methyl orange dye (MO), amoxicillin and caffeine. The DBD was generated in air under atmospheric pressure. RF-discharge was created either in argon or argon-allyl alcohol mixture at the pressure of 15 Pa. The RF-plasma was applied for plasma-chemical polymerization process with allyl alcohol as the precursor and argon as a carrier gas. The photocatalytic activity of the catalysts was evaluated for the degradation of MO as a model of azo-class pollutants, amoxicillin and caffeine as a model pharmaceutical pollutants in aqueous solutions under UV irradiation. The value rate constant for the photodegradation reaction was used to compare the photocatalytic activity of various catalysts.

**Ключевые слова:** фотокатализатор, оксид цинка, ZnO, диоксид титана, TiO<sub>2</sub>, фотодегradация, метиловый оранжевый, кофеин, наночастицы, обработка в плазме.

**Keywords:** photocatalyst, zinc oxide, ZnO, titanium dioxide, TiO<sub>2</sub>, photodegradation, methyl orange, caffeine, hydrothermal, nanoparticles, plasma treatment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-42-46>

Загрязнение воды органическими веществами – одна из важнейших и наиболее актуальных экологических проблем современного мира. Большое разнообразие органических загрязнителей попадают в окружающую среду из-за сброса промышленных отходов в воду. Одним из основных источников этих загрязнителей являются отходы промышленных процессов, в которых используются красители для окрашивания волокон, бумаги и пластика. Значительное количество красителей, применяемых в промышленности являются азокрасителями. Азокрасители рассматриваются как канцерогены так, как они могут разлагаться до потенциально канцерогенных и мутагенных продуктов, таких как амины, бензидин, нафталин и другие ароматические соединения. Поэтому удаление азокрасителей из водных сред имеет важное экологическое значение.

Фармацевтические препараты в настоящее время также являются широко распространенными загрязнителями окружающей среды. Ежегодно назначается большое количество фармацевтических продуктов. Годовое использование фармацевтических препаратов оценивается в пределах от  $10 \times 10^4$  до  $2 \times 10^5$  тонн [1, 2]. Фармацевтические препараты могут достигать концентрации в воде от наногرامмов на литр ( $\text{нг л}^{-1}$ ) до миллиграммов на литр ( $\text{мкг л}^{-1}$ ). С одной стороны, такие концентрации могут показаться незначительными. Однако, некоторые загрязняющие вещества могут накапливаться и приводить к неблагоприятным последствиям как для человека, так и для экосистем, например, к резистентности к антибиотикам, к различным мутационным эффектам и т. д. [1, 2].

Большинство органических загрязнителей являются стойкими. Многие из них плохо поддаются биологическому разложению в водной среде. Фотокаталитическое разложение органических загрязнителей считается более перспективным, чем обычные методы очистки сточных вод, такие как опреснение, адсорбция и обратный осмос. Фотокатализаторы на основе оксида цинка ( $\text{ZnO}$ ) и диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) не только разлагают органические соединения, в том числе и органические красители, но и минерализуют их до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и неорганических.  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$  также обладают большим потенциалом для удаления фармацевтических соединений.

Оксид цинка и диоксид титана в форме анатаза являются наиболее изученными фотокатализаторами.  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$  – полупроводники n-типа с химической и термической стабильностью, нетоксичностью по отношению к человеку и окружающей среде. На сегодняшний день  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$  считаются лучшими фотокаталитическими материалами для фотодegradации органических загрязнений. Несмотря на множество известных преимуществ использования  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$ , эти материалы характеризуются низкой эффективностью в видимом диапазоне и узким диапазоном светочувствительности, что ограничивает его использование в ультрафиолетовой области. Поскольку более 40 % солнечной энергии приходится на видимый диапазон, использование видимого света является более эффективным, чем ультрафиолетового (УФ). Поэтому актуальной является задача разработки новых методов для повышения эффективности фотокатализаторов.

Допирование  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$  атомами различных элементов или наночастицами, их фотосенсибилизация считаются многообещающими методами увеличения спектрального диапазона поглощения света и повышения фотокаталитической активности. Допирование фотокатализаторов атомами металлов, в том числе, благородных металлов, переходных металлов, а также неметаллов, наночастицами, в том числе, плазмонными, оказывается эффективным для ускорения процессов переноса фотоиндуцированных электронов, сужения запрещенной зоны  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$ , и как следствие, повышением фотокаталитической активности. Фотосенсибилизация полупроводниковых катализаторов порфиринами оказалась эффективной для разложения МО, нитрофенола (4-NP) и атразина под действием излучения видимого диапазона, то есть повышение активности материалов происходило за счет расширения спектрального диапазона поглощаемого света.

Повышение активности катализатора можно обеспечить также изменением морфологии или химического состава его поверхности. Эффективным способом изменения морфологии поверхности и увеличения поверхностной концентрации различных функциональных групп является обработка в неравновесной плазме [3–5].

В настоящей работе проанализировано влияние плазменной и плазмохимической модификации на эффективность повышения активности  $\text{ZnO}$ - и  $\text{TiO}_2$ -фотокатализаторов на основании серии проведенных исследований [3–5 и указанные в [3,5] предыдущие работы].

Сравнение влияния плазменной обработки на активность фотокатализаторов различного компонентного состава в реакциях фотодegradации органических загрязняющих веществ на примере модельных реакций фотодegradации МО, амоксициллина и кофеина бензоата натрия (кофеина) под действием ультрафиолетового излучения в водных суспензиях синтезированных образцов.

Рассмотрены следующие катализаторы:

1. Немодифицированный  $\text{ZnO}$  (порошок оксида цинка  $\text{ZnO}$  (Ч, «ЭКОС-1», Россия). В дальнейшем обозначается как Cat-1.

2. Химически модифицированный  $\text{ZnO}$  (порошок оксида цинка  $\text{ZnO}$  (Ч, «ЭКОС-1», Россия) путем импрегнирования плазмонными наночастицами серебра. В дальнейшем обозначается как Cat-2, гибридный катализатор  $\text{ZnO}/\text{Ag}$ .

3. Наночастицы  $\text{TiO}_2$  (анатаз, Aldrich, < 25 nm, 99,7 %). В дальнейшем обозначается как Cat-3.

4. Химически модифицированные наночастицы  $\text{TiO}_2$  (анатаз, Aldrich, < 25 nm, 99,7 %) путем импрегнирования Ru-содержащим сенситизирующим красителем N3. В дальнейшем обозначается как Cat-4.

5. Наноструктурированный  $\text{TiO}_2$ , синтезированный гидротермальным методом. В дальнейшем обозначается как Cat-5.

Модификация в плазме включала:

1. Обработку в плазме ДБР в воздушной атмосфере при различных значениях  $E_{\text{eff}}$  – эффективной поглощенной материалом за время обработки в плазме энергии.

2. Обработку в плазме высокочастотного разряда (ВЧ) в инертной атмосфере Ar, мощность 300 Вт, давление в камере 15 Па, скорость потока газа 20 сксм, время обработки 15 мин.

3. Покрытие полимерной полиаллиловой тонкой пленкой в плазме (ВЧ-плазма в реактивной атмосфере ( $\text{Ar} +$  аллиловый спирт как прекурсор), мощность 300 Вт, давление в камере 15 Па, скорость потока газа 20 сксм: 1,5 сксм 15 мин, толщина пленки 100 нм или ВЧ-плазма в реактивной атмосфере ( $\text{Ar} +$  аллиловый спирт как прекурсор), мощность 300 Вт, давление в камере 15 Па, скорость потока газа 20 сксм: 1,5 сксм 30 мин толщина пленки 200 нм).

Плазменная обработка образцов проводилась в плазме диэлектрического барьерного разряда, создаваемого в воздухе при нормальном давлении. Общая схема установки для обработки катализаторов в плазме приведена на рис. 1а.



Рисунок 1 – Схема установки для создания диэлектрического барьерного разряда (а) и реактора (б) “Piccolo”

Детальное описание установки и измерения электрических параметров разряда можно найти в [3–5]. Энергия, введенная в плазму ДБР, рассчитана как площадь фигуры, построенной в координатах: перемещенный заряд – напряжение на электродах ячейки (вольт-кулоновская характеристика, циклограмма, (Q-U)-диаграмма):

$$E_{el} = \oint U(t)dQ \equiv \text{Площадь } (Q - U) - \text{диаграммы.} \quad (1)$$

Величина эффективной энергии ( $E_{eff}$ ), поглощенной материалом за время обработки, оценивалась по формуле:

$$E_{eff} = E_{el} t_{рек} f, \quad (2)$$

где  $t_{рек}$  – время обработки материалов в плазме,  $f$  – частота разряда.

Общий вид и схематическое представление реактора для обработки электрокатализаторов и фотокатализаторов на основе  $\text{TiO}_2$  в плазме емкостного ВЧ разряда пониженного давления представлены на рисунке 1б. Реактор изготовлен компанией «Plasma Electronic GmbH» (Neuenburg, Germany). Высоковольтный электрод изготовлен в виде стержня. Заземленный электрод выполнен в виде цилиндра со встроенными ребрами, обеспечивающими равномерную обработку порошкообразных материалов при вращении цилиндра. Фотокатализаторы на основе  $\text{TiO}_2$  обрабатывались в плазме ВЧ-разряда в реактивной атмосфере (в присутствии паров алилловое спирта, пропен-2-ол-1,  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) после импрегнирования красителем N3 для инкапсуляции молекул красителя и их фиксации на поверхности катализатора. Так как в результате обработки на поверхности катализатора образовывалась полимерная пленка, то были изготовлены образцы, не содержащие молекул N3, но покрытые полиаллиловой пленкой. Для синтеза наночастиц Ag в 50 мл водного раствора нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$  ( $C=10^{-3}$  M), нагретого до кипения, добавляли 1 мл 1% водного раствора цитрата натрия  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$ . Далее полученный раствор выдерживали 1 час при температуре кипения. Подробное описание метода приготовления коллоида наночастиц серебра можно найти в предыдущей работе [5].

Фотокаталитическую активность исследовали в модельной реакции разложения кофеина бензоата натрия, метилового оранжевого или амоксициллина под действием ультрафиолетового излучения в водных суспензиях синтезированных образцов. При проведении экспериментов для приготовления суспензии навеску катализатора массой 40 мг смешивали с 20 мл водного раствора кофеина бензоата натрия или амоксициллина концентрации 300 мг/л или метилового оранжевого концентрации 50 мг/л. Растворы приготовлены на основе дистиллированной воды. Выбранные концентрации модельных веществ для модельных реакций находятся в диапазоне концентраций фармакологических отходов или отходов текстильной промышленности, содержащихся в сточных водах. Установлено также, что выбранные значения концентрации модельных веществ попадают в линейный диапазон калибровочного графика зависимости оптической плотности от концентрации поглощающего вещества. Суспензии катализаторов в водных растворах модельных веществ подвергали воздействию излучения в УФ-диапазоне (использовалось излучение ртутно-кварцевой лампы ДРТ-240). Концентрации модельного вещества в растворе определялись с помощью спектрофотометра SOLAR PB 2201 (SOLAR, Беларусь).

Относительную концентрацию модельного вещества  $C_r$  определяли по данным измерений оптической плотности в максимуме поглощения:

$$C_r = \frac{C(t)}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_t}{A_0} \cdot 100\% \quad C_r = \frac{c(t)}{c_0} \cdot 100\% = \frac{A_t^{465}}{A_0^{465}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $C_0$  – начальная концентрация модельного вещества,  $C(t)$  – концентрация модельного вещества после облучения его УФ излучением в момент времени  $t$ ,  $A_0$  и  $A_t$  – оптическая плотность раствора модельного вещества в максимуме поглощения до начала облучения и в момент времени  $t$  после начала облучения образца соответственно.

Измерение каждого спектра поглощения облученного раствора проводилось через 30 мин после облучения. Спектры некоторых растворов повторно измерялись через сутки (24 часа).

Константу скорости реакции фотодеградации, определяемую по наклону графика зависимости концентрации  $C_r$  от времени, использовали в качестве количественной характеристики фотокаталитической активности образцов.

Для сравнения фотокаталитической активности различных образцов предполагали, что реакция фотодеградации может быть описана уравнением первого порядка, следовательно, кинетическое уравнение имеет вид:

$$\frac{dC}{dt} = -kC. \quad (4)$$

Здесь  $C$  – концентрация разлагаемого вещества,  $k$  – константа реакции. Решение уравнения (5) можно представить следующим образом:

$$C(t) = C_0 e^{-kt}. \quad (5)$$

Таким образом, построив зависимость  $\ln \frac{C(t)}{C_0}$  от времени, значения константы скорости реакции можно легко найти по графику.

$$\ln \frac{C(t)}{C_0} = -kt. \quad (6)$$

В таблице 1 представлены данные об изменении констант скоростей реакций с участием катализаторов Cat-1 – Cat-5 после различных видов обработки.

Таблица 1

*Изменение констант скоростей реакций фотодеградации с участием катализаторов в результате плазменной или плазмо-химической обработки*

| Катализатор | Модификация плазме, вид разряда (для ВЧ-разряда: химический состав газовой атмосферы, мощность разряда, скорость потока газа, время обработки, толщина полимерной пленки) | Модельное вещество / исходная концентрация, мг/л. | Константы скоростей модельных реакций до и после модификации, $k_1/k_2$ , с <sup>-1</sup> | Отношение, $k_2/k_1$ , отн. ед. |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Cat-1.      | ДБР, $E_{eff} = 3180$ Дж <sup>1</sup>                                                                                                                                     | МО, 50 мг/л                                       | $1,4 \cdot 10^{-3} / 1,1 \cdot 10^{-2}$                                                   | ~ 8                             |
| Cat-2.      | ДБР, $E_{eff} = 9750$ Дж <sup>1</sup>                                                                                                                                     | МО, 50 мг/л                                       | $1,3 \cdot 10^{-3} / 4,0 \cdot 10^{-3}$                                                   | ~ 3                             |
| Cat-2.      | ДБР, $E_{eff} = 18000$ Дж <sup>1</sup>                                                                                                                                    | Кофеин, 300 мг/л                                  | $1,2 \cdot 10^{-4} / 2,0 \cdot 10^{-4}$                                                   | ~ 2                             |
| Cat-3.      | ВЧ-разряд, Ar, 300 Вт, 15 Па, 20 сксм, 15 мин.                                                                                                                            | МО, 50 мг/л                                       | $4,0 \cdot 10^{-3} / 2,5 \cdot 10^{-3}$                                                   | 0,6                             |
| Cat-3.      | ВЧ-разряд, Ar, 300 Вт, 15 Па, 20 сксм, 15 мин.                                                                                                                            | Кофеин, 300 мг/л                                  | $1,3 \cdot 10^{-3} / 1,2 \cdot 10^{-3}$                                                   | 0,9                             |
| Cat-3.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 15 мин, 100 нм                                                                                         | МО, 50 мг/л                                       | $4,0 \cdot 10^{-3} / 1,1 \cdot 10^{-2}$                                                   | ~ 3                             |
| Cat-3.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 30 мин 200 нм                                                                                          | МО, 50 мг/л                                       | $4,0 \cdot 10^{-3} / 1,1 \cdot 10^{-2}$                                                   | ~ 3                             |
| Cat-3.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 15 мин, 100 нм                                                                                         | Кофеин, 300 мг/л                                  | $1,3 \cdot 10^{-3} / 8,3 \cdot 10^{-4}$                                                   | 0,6                             |
| Cat-3.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 30 мин 200 нм                                                                                          | Кофеин, 300 мг/л                                  | $1,3 \cdot 10^{-3} / 8,3 \cdot 10^{-4}$                                                   | 0,6                             |
| Cat-4.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 15 мин, 100 нм                                                                                         | МО, 50 мг/л                                       | Не определена <sup>2</sup>                                                                | -                               |
| Cat-4.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 30 мин 200 нм                                                                                          | МО, 50 мг/л                                       | Не определена <sup>2</sup>                                                                | -                               |
| Cat-4.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 15 мин, 100 нм                                                                                         | Кофеин, 300 мг/л                                  | Не определена <sup>2</sup>                                                                | -                               |
| Cat-4.      | ВЧ-разряд (Ar + аллиловый спирт), 300 Вт, 15 Па, 20 сксм: 1.5 сксм 30 мин 200 нм                                                                                          | Кофеин, 300 мг/л                                  | Не определена <sup>2</sup>                                                                | -                               |
| Cat-5.      | ДБР, $E_{eff} = 18000$ Дж <sup>1</sup>                                                                                                                                    | МО, 50 мг/л                                       | $10^{-3} / 10^{-3}$                                                                       | 1                               |
| Cat-5.      | ДБР, $E_{eff} = 18000$ Дж <sup>1</sup>                                                                                                                                    | Амоксициллин, 300 мг/л.                           | Не определена <sup>3</sup>                                                                | -                               |

<sup>1</sup>Обработка проводилась для оптимального значения  $E_{eff}$  для данного типа катализаторов;

<sup>2</sup>Катализатор нестойкий, краситель N3 переходит в модельный раствор;

<sup>3</sup>Константа не определена вследствие образования продуктов реакции с максимумом поглощения в спектральном диапазоне регистрации модельного вещества.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов по исследованию плазмоиндуцированного повышения активности фотокатализаторов позволяют определить оптимальный режим плазменной обработки,



способствующий повышению каталитической активности, тип катализатора и вещества, для которых данные катализаторы наиболее активны. Наиболее восприимчивыми к плазменной обработке оказались фотокатализаторы на основе ZnO и гибридные катализаторы, модифицированные плазмонными наночастицами ZnO/Ag, обработанные в ДБР, а также нано катализаторы на основе TiO<sub>2</sub>, покрытые полимерной наноразмерной пленкой. В результате воздействия плазмы константы скоростей фотодеградации МО и кофеина увеличиваются в 2–8 раз.

*Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов». Авторы благодарят Щербович А.А. (МГЭИ им.А.Д.Сахарова БГУ) за синтез коллоидов наночастиц и помощь в проведении экспериментов и д-ра Ф.Брюзера (Лейбниц-Институт физики и технологии плазмы г. Грайфсвальда, Германия) за обработку в плазме фотокатализаторов на основе TiO<sub>2</sub>.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Analytical Detection of Pesticides, Pollutants, and Pharmaceutical Waste in the Environment / E. Materón [et al.] // *Nanosensors for Environmental Applications. Environmental Chemistry for a Sustainable World* : vol 43. / ed. K. Tuteja [et al.]. – Cham, 2020. – Ch. 3. – P. 87-127.
2. Photocatalytic Degradation of Caffeine as a Model Pharmaceutical Pollutant on Mg Doped ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Heterostructure / F. Elhalil [et al.] // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. – 2018. – Vol. 10. – P. 63–72.
3. A comparative study on photocatalytic activity of ZnO-based photocatalysts treated by dielectric barrier discharge plasma / N. A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2020. – V. 24. – № 4. – P. 275-291.
4. Plasma-assisted synthesis of polymer-capped dye-sensitized TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts for methyl orange and caffeine photodegradation / N. A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2021. – V. 25. – № 3. – P. 59-74.
5. Effect of DBD-plasma treatment on activity of ZnO-based photocatalysts impregnated with silver nanoparticles / N. A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2022. – V. 26. – № 6. – P. 25-42.

## ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА НА ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ THE EFFECT OF AGROCHEMICAL RECLAMATION OF CONTAMINATED CHERNOZEM ON THE MOBILITY OF HEAVY METALS

**О. В. Черникова, Ю. А. Мажайский<sup>1</sup>**  
**O. V. Chernikova, Yu. A. Mazhayskiy**

*ФКОУ ВО Академия права и управления  
Федеральной службы исполнения наказаний, г. Рязань, Россия  
chernikova\_olga@inbox.ru*

*Academy of Law Management of the Federal Penal Service of Russia, Ryazan, Russia*

На оподзоленном черноземе, где моделировался повышенный уровень загрязнения тяжелыми металлами, наблюдалась определенная динамика в подвижности экотоксикантов в зависимости от внесенных агрохимических мелиорантов в почву. Применение систем удобрений сдерживало вынос Zn и Cu в грунтовые воды, но высокие дозы фосфатов (P120 – ежегодно) наоборот повышали миграцию Cd, Pb, Cu во внутрипочвенные воды. Органическая и органо-минеральная системы удобрений снижали вынос кадмия в инфильтрационные воды.

On the podzolized chernozem, where an increased level of heavy metal pollution was modelled, a certain dynamics in the mobility of ecotoxicants was observed, depending on the agrochemical ameliorants introduced into the soil. The use of fertilizer systems restrained the removal of Zn and Cu into groundwater, but high doses of phosphates (P120 – annually), on the contrary, increased the migration of Cd, Pb, Cu into subsurface waters. Organic and organo-mineral fertilizer systems reduced the removal of cadmium into infiltration waters.

*Ключевые слова:* чернозем, тяжелые металлы, система удобрений, агрохимическая мелиорация.

*Keywords:* chernozem, heavy metals, fertilizer system, agrochemical reclamation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-46-50>



В настоящее время гармония экологического равновесия в ряде регионов земного шара нарушена. Следствием стало увеличение объема вредных веществ, которые сбрасываются в воду, воздух, на поверхность почвы промышленными, сельскохозяйственными, химическими и другими предприятиями. Все отрицательные непредвиденные последствия антропогенной деятельности человека оказывают существенное влияние на биохимический режим окружающей природной среды. Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) – один из наиболее опасных видов антропогенной деградации экосистемы. Экологические последствия загрязнения непосредственно зависят от того, как прочно и много почвой удерживаются поллютанты, как сильно изменяются ее абиотические и биотические свойства под влиянием загрязнения, а также как данные изменения влияют на плодородие почв и их способность защищать сопредельные среды от загрязнения.

Попавшие в почву ТМ фиксируются гумусосодержащими горизонтами. При этом сама почва, являясь природным телом, становится при загрязнении вторичным источником загрязнения природных вод, приземного воздуха, растениеводческой продукции.

При загрязнении почв тяжелыми металлами ухудшается их фосфатный режим в связи с образованием труднорастворимых осадков фосфатов, а также азотный режим вследствие ингибирования микроорганизмов; ослабляется гумусонакопление в связи с меньшим поступлением растительных остатков в почву, происходит ингибирование микробиологической активности; требуются дополнительные дозы  $\text{CaCO}_3$  для осаждения тяжелых металлов. Все вышеизложенное определяет необходимость дополнительных затрат на окультуривание почв и меньшую эффективность применения минеральных удобрений и в целом антропогенного воздействия.

Являясь центральным звеном биогеоценозов, почвенный покров осуществляет в биосфере экологическую функцию, проявление такой уникальной функции почв может быть возможным только при высоком уровне их плодородия [1].

В данное время существует проблема повышения и сохранения плодородия почв, как основы устойчивого развития сельского хозяйства России, так как ввиду ряда субъективных и объективных причин применение агрохимических средств ограничено [2]. На сегодняшний день практически не производят известкования, не вносят калийные и фосфорные удобрения, как следствие, регистрируется снижение кислотности и содержания подвижных форм питательных веществ в самых разных почвах – от черноземов до дерново-подзолистых. В результате экстенсивного продолжительного без применения удобрений использования выщелоченного чернозема произошло снижение гумуса: в слое 0–20 и 20–40 см, составило, 4,77 и 4,93 %, соответственно, при исходной величине 5,6 % в слое 0–20 см.

На загрязненных ТМ почвах ведение земледелия становится одной из актуальных практических задач. Разработка агрохимических научно обоснованных приемов детоксикации почв при разных уровнях загрязнения ТМ актуальна и обязательна для получения чистой растительной продукции, отвечающей всем санитарно-гигиеническим требованиям, ведения устойчивого земледелия, а также недопущения дальнейшего распространения экотоксикантов через почву в грунтовые воды и растения, для предотвращения отравления человека и животных.

Параметры режимов плодородия почвы определяются агрофизическими свойствами, климатическими условиями, гранулометрическим, химическим и минералогическим составом, потенциальным запасом элементов питания, а также содержанием их подвижных форм, интенсивностью микробиологических процессов, запасами гумуса, реакцией и иными физико-химическими свойствами.

Токсичность химических отходов для живых организмов, в которых содержатся и тяжелые металлы, определяется как свойствами и уровнем концентраций самих элементов, так и их миграционной способностью в различных компонентах экосистемы, а также степенью накопления в органах и тканях [3].

Разработка приемов восстановления плодородия загрязненных тяжелыми металлами почв, являются в современных условиях весьма актуальными задачами. Закрепление (фиксация) тяжелых металлов в почве является одним из способов снижения их поступления, как в растения, так и в природные воды.

Нормальное развитие растений возможно только в условиях, создаваемых благоприятным сочетанием основных факторов их жизни - освещенностью, температурой окружающей среды, оптимальным содержанием элементов питания в почвенном растворе и влажностью. В последнее время к выше перечисленным факторам выдвигается фитотоксичность тяжелых металлов и микроэлементов.

В этих условиях действие генетического контроля снижается, в результате чего нарушаются сложившиеся эволюционно соотношения элементов. Но реакции растений на химические стрессы в течение онтогенеза и филогенеза вырабатываются механизмы, приводящие к адаптации и нечувствительности к изменению и нарушению химического баланса в окружающей среде. Поэтому реакции растений на тяжелые металлы в почве и окружающем воздухе должны всегда исследоваться для конкретной системы почва – растение [4].

При питании растений из уравновешенных растворов с низкой концентрацией элементов происходит регулирование поглощения их. При повышении концентрации процессы регуляции уменьшаются. Хотя некоторое повышение уровня загрязнения почвы не будет оказывать отрицательного влияния на растение, благодаря инактивации токсикантов за счет буферной способности почв. Однако защитные свойства почв безграничны.

Миграционная способность ТМ зависит от совокупности свойств почвы, химических загрязнителей, ландшафтной обстановки [5]. Загрязняющие вещества, выпадающие из атмосферы, как правило, концентрируются в гумусовых горизонтах почвы. Однако на малобуферной почве под влиянием физико-химических, биологических

и других процессов из обменно-поглощенного состояния они переходят в почвенный раствор и с нисходящими потоками могут перемещаться в нижележащие слои.

Инфильтрация ТМ через почвенный профиль сопровождается выведением органического вещества и связанных с ним металлов. Наиболее интенсивен этот процесс для металлов, ассоциированных с высокомолекулярными фракциями растворимого органического вещества – для Cu и Pb. Комплексообразование Cd и Zn в основном с низкомолекулярными фракциями обуславливает миграцию преимущественно в составе истинных растворов.

Цель данной работы заключается в установлении влияния систем удобрений, применяемых для санации загрязненного чернозема оподзоленного, на подвижность тяжелых металлов.

Опыт проводился в лизиметрах, заряженных черноземом оподзоленным. Было разработано шесть вариантов опыта, отличающихся по соотношениям и дозам вносимых минеральных и органических удобрений (табл. 1).

Таблица 1

*Схема закладки и проведения полевого лизиметрического опыта*

| №№ вариантов | Названия вариантов, системы применения удобрений в звене севооборота                                               | Сокращения в таблицах названия вариантов |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1            | Без удобрений                                                                                                      | Б/у                                      |
| 2            | Навоз КРС 100 т/га – периодическое внесение                                                                        | H100                                     |
| 3            | Навоз КРС 100 т/га – периодическое внесение, N 60 – 90 P 60 K 60 – 120 – ежегодно в зависимости от культуры        | H100<br>N1P1K1                           |
| 4            | P2 – периодическое внесение фосфора, 1 раз в 2 года в дозе 120 кг/га, ежегодное использование N 60 – 90 K 60 – 120 | P2N1K1                                   |
| 5            | P4 – периодическое внесение фосфора, 1 раз в 4 года 240 кг/га, ежегодное использование N 60 – 90 K 60 – 120        | P4N1K1                                   |
| 6            | P2(е) – ежегодное внесение повышенной дозы фосфора (120 кг/га) и оптимальных доз N 60 – 90 K 60 – 120              | P2(е)N1K1                                |

Оподзоленный чернозем тяжелосуглинистый был загрязнен растворимыми солями Zn, Cu, Pb, Cd. При этом использовались химически чистые соли:  $Pb(CH_3COO)_2$ ;  $Zn(CH_3COO)_2 \times 2H_2O$ ;  $CdSO_4$ ;  $CuSO_4 \times 5H_2O$ . Тем самым создан повышенный фон загрязнения на основании регионального геохимического фона и градиций уровней. Общее содержание в почве составило: Cd – 0,6 мг/кг, Cu – 90 мг/кг, Zn – 110 мг/кг, Pb – 40 мг/кг.

Имеются данные по установлению тесной связи между валовым содержанием Zn, Pb, Cd и их подвижными формами, извлекаемыми ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) pH 4,8. Поэтому в наших исследованиях, по изучению реабилитационных мероприятий загрязненных почв тяжелыми металлами, проведено определение подвижных форм, их мобильной части. Для экстракции подвижных форм тяжелых металлов использовали ААБ pH 4,8 (табл. 2).

Подвижные формы металлов – это наиболее агрессивная часть валового содержания ТМ, которые могут поступать непосредственно в корневую систему. Эти подвижные формы участвуют в миграционных потоках, в том числе во внутрипрофильных. Поэтому жидкая фаза почв является непосредственным источником ТМ для высших растений и почвенной биоты.

Исследования проводили в ежегодных почвенных пробах, которые отбирались после учета урожая.

В наших условиях, загрязнение почв тяжелыми металлами проведено осенью 2004 года водорастворимыми солями. Известно, при внесении соли в почву, благодаря сорбционным процессам ТМ поглощаются почвенными коллоидами, которые представлены в почве минеральными, органическими и органо-минеральными соединениями. Ввиду полифункциональности почвы как сорбента ее сорбционная емкость будет неодинакова к различным ТМ, их катионам. А скорость сорбции элементов может лимитироваться процессами внутренней диффузии молекул, ионов. Она может ограничиваться скоростью растворения почвенных соединений, участвующих в осаждении загрязняющих веществ. Следовательно, при попадании загрязняющих веществ в почву требуется значительное время, чтобы установить сорбционное равновесие.

В водном режиме чернозема выделяются два периода: 1) иссушение почвогрунта, охватывающее лето и первую половину осени, когда влага интенсивно расходуется растениями и испаряется из-за господства восходящих токов над нисходящими; 2) промачивание, начинающееся со второй половины осени, прерывающееся морозами и продолжающееся весной, благодаря талым водам и весенним осадкам. Они определяются, прежде всего, количеством осадков, их распределением во времени и температурой. Летние осадки увлажняют лишь пахотный слой. Запас влаги в нижних горизонтах в черноземах создается осадками холодного периода. Поэтому осадки позднего периода создают дополнительное увлажнение, которое способствует загрязнению тяжелыми металлами внутрипочвенных вод.

Исследования, проведенные в лизиметрическом опыте, по изучению химического состава внутрипочвенных вод показывают, что загрязненный чернозем обладает большой поглотительной способностью ТМ. Основная масса ТМ, внесенных в виде водорастворимых солей, была адсорбирована почвой и переведена почвенными

коллоидными оподзоленным черноземом в слабомигрирующие соединения. Загрязненная почва первого варианта в годы исследований способствовала миграции во внутрипочвенные воды Cu и Cd, а Pb и Zn больше задерживаются от вымывания по сравнению с природными почвами

По годам исследований наблюдалась вариабельность в количествах подвижных форм тяжелых металлов (табл. 2). Средние показатели содержания металлов в ацетатно-аммонийном буфере указывают на то, что их экстрагируется значительно больше на варианте без удобрений. Максимальная степень подвижности отмечена у Cd (73,3 %). Все системы удобрений, применяемые для санации загрязненного ТМ чернозема, в среднем снижали накопление подвижных соединений Pb, Cd, Zn, Cu. Тем самым снижалась и степень их подвижности. Органо-минеральная система удобрений уменьшала степень подвижности меди с 15,7 % до 8,3 %, цинка с 42,8 % до 21,2 %, кадмия с 73,3 % до 51,6 %, свинца с 53,5 % до 25,5 %. Практически близки изменения этого показателя было на варианте ежегодного внесения P2(e)N1K1. Особенно на этом варианте снизилось накопление подвижного Cd. Другой экотоксикант Pb максимально уменьшил степень подвижности от периодического использования фосфорных удобрений (P4) на фоне N1K1. Она понизилась с 53,5 % (вариант Б/у) до 21,5 % на варианте P4N1K1.

Итак, изученные внесения разных систем удобрений на оподзоленном черноземе значительно снимают и снижают агрессивность поллютантов.

Таблица 2

*Влияние систем удобрений по изучению реабилитации  
загрязненного тяжелыми металлами оподзоленного чернозема*

| № варианта | Варианты опыта | Элемент | Количество элемента, извлекаемого из почвы ААБ <sub>pH=4,8</sub> , мг/кг |      |      |                |      |
|------------|----------------|---------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|----------------|------|
|            |                |         | I                                                                        | II   | III  | Среднее, мг/кг | %*   |
| 1          | Б/у            | Zn      | 26,3                                                                     | 45,3 | 69,7 | 47,1           | 42,8 |
|            |                | Cu      | 32,3                                                                     | 10,1 | 19,5 | 14,1           | 15,7 |
|            |                | Pb      | 31,2                                                                     | 10,7 | 22,2 | 21,4           | 53,5 |
|            |                | Cd      | 0,47                                                                     | 0,29 | 0,57 | 0,44           | 73,3 |
| 2          | H100           | Zn      | 17,3                                                                     | 36,2 | 26,1 | 26,5           | 24,1 |
|            |                | Cu      | 11,1                                                                     | 11,4 | 4,1  | 8,9            | 9,9  |
|            |                | Pb      | 20,4                                                                     | 12,9 | 9,8  | 14,4           | 36,0 |
|            |                | Cd      | 0,49                                                                     | 0,25 | 0,30 | 0,35           | 58,3 |
| 3          | H100N1P1K1     | Zn      | 4,2                                                                      | 26,2 | 39,4 | 23,3           | 21,2 |
|            |                | Cu      | 13,2                                                                     | 3,6  | 5,7  | 7,5            | 8,3  |
|            |                | Pb      | 10,0                                                                     | 11,0 | 9,7  | 10,2           | 25,5 |
|            |                | Cd      | 0,50                                                                     | 0,17 | 0,27 | 0,31           | 51,6 |
| 4          | P2N1K1         | Zn      | 60,0                                                                     | 37,9 | 36,8 | 44,9           | 40,8 |
|            |                | Cu      | 31,1                                                                     | 6,7  | 7,8  | 15,2           | 16,9 |
|            |                | Pb      | 12,5                                                                     | 7,1  | 11,2 | 10,3           | 25,8 |
|            |                | Cd      | 0,41                                                                     | 0,26 | 0,32 | 0,33           | 55,0 |
| 5          | P4N1K1         | Zn      | 67,0                                                                     | 63,5 | 47,4 | 59,3           | 53,9 |
|            |                | Cu      | 14,0                                                                     | 7,5  | 3,8  | 8,4            | 9,3  |
|            |                | Pb      | 7,2                                                                      | 10,2 | 8,5  | 8,6            | 21,5 |
|            |                | Cd      | 0,39                                                                     | 0,32 | 0,30 | 0,34           | 56,7 |
| 6          | P2(e)N1K1      | Zn      | 7,8                                                                      | 64,0 | 44,1 | 38,6           | 35,1 |
|            |                | Cu      | 0,7                                                                      | 13,0 | 6,4  | 6,7            | 7,4  |
|            |                | Pb      | 2,5                                                                      | 20,7 | 12,2 | 11,8           | 29,5 |
|            |                | Cd      | 0,13                                                                     | 0,25 | 0,25 | 0,21           | 35,0 |

Примечание: \* приводятся данные по степени подвижности ТМ (отношение мг/кг в ААБ к валовому содержанию в почве, выраженное в %)

Результаты данных исследований указывают на то, что органическое вещество навоза связывает растворимые соли металлов в металлоорганические комплексы, а фосфаты удобрений переводят их в труднорастворимые соединения. Тем самым несколько улучшают (оздоравливают) загрязненную ТМ почву.

Как следствие, токсические соединения значительно меньше могут мигрировать во внутрипочвенные воды и поступать в сельскохозяйственную продукцию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Седых, В.А. Изменение подвижности тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зависимости от степени их гумусированности и применения высоких доз органических удобрений / В.А. Седых, А.Д. Кашанский, Е.Г. Хими́на, П.Ю. Карауш // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3. – С. 17–25.
2. Евтюхин, В.Ф. Влияние систем удобрений на продуктивные функции сельскохозяйственных культур в условиях смоделированного загрязнения чернозема тяжелыми металлами / В.Ф. Евтюхин, А.В. Ильинский, О.В. Черникова // Агрохимический вестник. – 2011. – № 3. – С. 24–26.
3. Агроэкология = Agroecology : Учеб. для студентов вузов по агроном. специальностям / [В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев [и др.]; Под ред. В.А. Черникова и А.И. Чекереса. - Москва : Колос, 2000. – 534 с.
4. Черникова, О.В. Экологическое обоснование комплексных приемов реабилитации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Рязанской области). Дисс. на соиск. уч. степ. к. б. н. – Рязань, 2010. – 172 с.
5. Евтюхин, В.Ф. Влияние агрохимической мелиорации загрязнённого тяжёлыми металлами оподзоленного чернозёма на урожайность сельскохозяйственных культур / В.Ф. Евтюхин, О.В. Черникова, А.Н. Карпов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 17–19.

## ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ БАЗ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАЗВИТИЯ FOREST INDUSTRY OF THE KRASNOYARSK REGION: ANALYSIS OF INFORMATION BASES AND THE ENVIRONMENTAL ASPECT OF DEVELOPMENT

**И. Т. Золотухина<sup>1</sup>, С. О. Медведев<sup>1</sup>, Е. В. Петрова<sup>1</sup>**  
**I. T. Zolotukhina, S. O. Medvedev, E. V. Petrova**

<sup>1</sup>Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета  
науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,  
г. Лесосибирск, Российская Федерация  
irinalsib88@gmail.ru

*Lesosibirsk branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Lesosibirsk, Russian Federation*

В статье рассмотрено нарушение баланса между убылью и восстановлением лесных массивов. В качестве проблем выделены лесные пожары и последствия лесозаготовительной деятельности. Приведены результаты действующих проектов по защите лесов. Предложены рекомендации по восстановлению лесных ресурсов.

The article considers the violation of the balance between the decline and restoration of forests. Forest fires and the consequences of logging activities are highlighted as problems. The results of existing forest protection projects are presented. Suggested recommendations for the restoration of forest resources.

*Ключевые слова:* лесовосстановление, лесные пожары, экологическая проблема.

*Keywords:* reforestation, forest fires, environmental problem.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-50-53>

По запасам лесных ресурсов в России Красноярский край находится на втором месте. Площадь лесного массива края составляет 158,7 млн га, это около 42 % от площади лесного массива Сибирского федерального округа [1]. Для жителей Красноярского края лесопромышленный комплекс выступает основой экономики, поскольку обеспечивает половину валового регионального продукта. Данная область является одной из крупнейших в стране по производству лесопромышленной продукции, существенная часть которой экспортируется. Предприятиями лесной отрасли края производится 17 % общероссийского выпуска пиломатериалов. В перспективе в крае планируется начало реализации инвестиционных проектов по созданию современных высокотехнологичных целлюлозно-бумажных производств на территории северной группы районов края [1].

Несмотря на тот факт, что лес относится к возобновляемым ресурсам, очевидно, что возобновление лесного фонда (долгое и трудоемкое) не успевает за наращиванием производства в лесной отрасли. Кроме того, большую роль в исчезновении лесных массивов играют многочисленные лесные пожары, являющиеся, в большинстве своем, результатом антропогенной деятельности. Площадь лесов края, подвергшаяся пожарам в течение последних лет представлена на рис. 1 [2]. В результате это приводит к истощению лесных ресурсов в Красноярском крае из года в год.

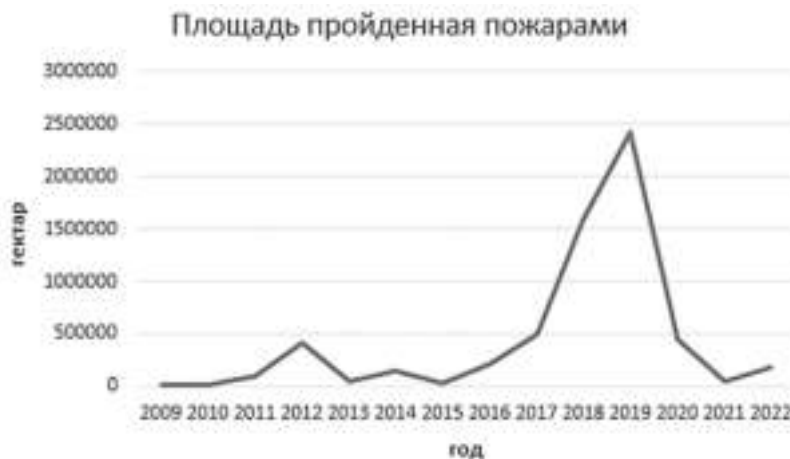


Рисунок 1 – Площадь лесов пройденных пожарами в Красноярском крае [2]

Чтобы исправить эту ситуацию руководство края предпринимает различные меры, которые направлены на скорейшую ликвидацию лесных пожаров и их предупреждение в пожароопасный сезон, а также на мероприятия по восстановлению лесных массивов. В течении 2022 года в Красноярском крае было потушено 1204 лесных пожара на площади 185 тыс. га.

Следует отметить, что площади, пройденные огнем, сократились в пять раз относительно показателей последних пяти лет. Около 93 % лесных пожаров в регионе были зафиксированы на ранних фазах и небольших площадях. Благодаря быстрому разворачиванию средств и сил для их устранения удалось потушить большую часть возгораний, до 73 %, в первые сутки. Оперативное реагирование на возникающие лесные пожары удалось обеспечить за счет масштабной модернизации системы охраны лесов края, введенная по инициативе губернатора Александра Усса. Программа по переоборудованию парков лесных хозяйств специализированной техникой стартовала в 2019 году. К данному моменту лесные хозяйства почти на 50 % обновили материально-техническую базу – за счет более 2200 единиц спецтехники и оборудования, полученных по нацпроекту «Экология» [3]. За последние годы это самая крупная замена техники за счет средств из федерального бюджета. Расширение технической базы предоставило возможность лесхозам увеличить скорость противодействия на воспламенения в лесу. Кроме того, в крае существенно увеличили штат Лесопожарного центра – до 1900 человек, создали новые лесопожарные подразделения, точки базирования и дозаправки авиации в отдаленных территориях, развернули сеть видеомониторинга [3]. Как подчеркивает первый заместитель министра лесного хозяйства Красноярского края Алексей Большаков, в первую очередь значительно усилилась охрана лесов в отдаленных и труднодоступных территориях, поскольку именно там возникают наиболее сложные лесные пожары и фиксируются значительные площади, пройденные огнем. Подразделениями по тушению пожаров используются новейшие технологии, модернизируется многоступенчатая структура мониторинга, что позволяет эффективно реагировать на самых ранних стадиях возгорания даже в труднодоступных и отдаленных районах. В этом направлении активная помощь оказывается сотрудниками научно-образовательного центра «Енисейская Сибирь», поскольку активно внедрять цифровые технологии и использовать космические данные для обнаружения и тушения лесных пожаров – одна из первоочередных задач краевой политики.

Помимо мер, предпринимаемых по ликвидации лесных пожаров, значительное внимание уделяется действиям, регламентирующим промышленную вырубку леса и мероприятиям, направленным на восстановление лесных ресурсов. Осуществление заготовки древесины предприятиями и учреждениями строго регламентируется Лесным кодексом Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ [4]. Указанный закон также предусматривает проведение обязательного мониторинга воспроизводства лесов, который представляет собой «систему наблюдений за состоянием лесов, требующих воспроизводства, и лесов, в которых проводится их воспроизводство, а также анализа, оценки и прогноза изменения их состояния в целях осуществления управления в области воспроизводства лесов и обеспечения их воспроизводства» [4].

Таблица 1 наглядно демонстрирует увеличение планируемых мероприятий по воспроизводству лесов в Красноярском крае.

Из проекта лесного плана видно, что на запланированные десять лет намечено сделать в отношении восстановления лесных массивов в 18 раз больше, чем за предыдущие 10 лет. Запланированные действия по восстановлению лесных массивов до 2028 года выглядят оптимистично, учитывая что за последние десять лет площадь лесов пройденных пожарами в среднем равна 307325 га в год. Это без учета мест вырубки и повреждения лесных массивов вредителями, показатели которых значительно меньше площадей поврежденных пожарами. Реализуя указанные цифры, почти 10 млн. га за десять лет, можно восстановить баланс между убылью и восстановлением лесов.



Таблица 1

*Мероприятия по воспроизводству лесов за период действия предыдущего лесного плана (2008–2018 гг.) и показатели на период действия разрабатываемого лесного плана (2019–2028 гг.) Красноярского края [5]*

| Наименование мероприятий по восстановлению лесов | Единица измерения | Объемы реализации мероприятий                         |                                                          |                                                       |
|--------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                  |                   | плановые на период действия предыдущего лесного плана | фактические за период действия предыдущего лесного плана | плановые на период действия лесного плана 2019–2028г. |
| Леса, расположенные на землях лесного фонда      |                   |                                                       |                                                          |                                                       |
| Лесовосстановление, всего                        | га                | 506 628                                               | 551 389                                                  | 9 960 178                                             |
| Искусственное лесовосстановление                 | га                | 62 375                                                | 63 381                                                   | 836 124                                               |
| Естественное лесовосстановление (содействие)     | га                | 444 253                                               | 488 008                                                  | 3 191 795                                             |

Тем не менее, чтобы добиться лучших результатов в искусственном восстановлении лесов необходимо делать это обдуманно. Эффективность восстановления лесов должна быть подкреплена наукой. В первую очередь необходимо определить местности на земле, имеющие наивысший потенциал для выращивания деревьев. Например, уже известно, что спрос на продукты питания будет только увеличиваться. Следовательно, логично, что местности с богатым биологическим разнообразием, управляемые пастбища не желательно превращать в леса, даже если они и пригодны для выращивания леса.

Сейчас ученые подготавливают подробные карты, которые показывают огромные ресурсы восстановления за пределами существующих лесов, сельскохозяйственных угодий и городских районов. Под лесопосадки районированных пород можно использовать площади брошенных деревень и длительно не используемых сельхозугодий.

Вторым шагом в восстановлении является осознанное понимание как будут выглядеть эти леса. Существенная задача для лесоводов заключается в том, какие породы деревьев надлежит высаживать, ведь эти деревья будут формировать лес на несколько десятилетий вперед. Поэтому, они должны обладать высоким потенциалом роста, высоким уровнем поглощения углерода и оптимальной поддержкой биоразнообразия. Одновременно с этим высаживаемые породы должны в состоянии противостоять возрастающим экологическим проблемам 21-го века, в том числе изменение климата. Например, будущий лесной массив должен в состоянии выдержать экстремальные засухи, подобно таким, которые происходили весной и летом 2022 года в большинстве областях Европы, в том числе в Красноярском крае (по наблюдениям с 1936 года в Саяно-Шушенском водохранилище был рекордно низкий приток воды). Важная проблема состоит в том, что отсутствует единая порода деревьев, которая совмещала бы все эти признаки. Таким образом, каждому региону страны необходимо искать компромиссное решение, выбирая из различных видов деревьев.

До настоящего времени многие схемы масштабных посадок деревьев воссоздавали культурами одного вида, рассчитывая на пару коммерческих пород деревьев – чаще это сосны, ели или эвкалипты. Хорошо, что ученые всего мира создали экспериментальные площади деревьев, которые могут стать более информативными.

Ученые изучают скорость роста деревьев, когда они разделяют пространство с другими видами, использующие другие ресурсы. Выясняют устойчивость различных видов деревьев к насекомым вредителям, изменению климата и другим угрозам.

В настоящее время исследования ученых показывают, что насаждения из смешанных пород меньше подвергаются риску полной гибели. Хотя, одинаковые культуры могут быть более результативными, но часто менее надежные и могут не перенести периоды сильного стресса. Именно смешанные леса могут обеспечить устойчивость новых насаждений в условиях неопределенности будущего.

Важной задачей для решения нарастающей экологической проблемы вырубki лесных массивов является разработка норм рационального потребления ресурсов.

Важно соблюдать следующие принципы:

- доносить до населения важность бережного отношения к растениям, деревьям и животным;
- выделять участки под вырубку предприятиям только в объемах мощностей этих предприятий;
- выделять дополнительные участки под вырубку только при условии реализации планов модернизации и развития производства;
- усилить контроль над использованием ресурсов;
- применять практику советского периода лесопользования: вырубил дерево - посади дерево, убери за собой отходы лесозаготовок;

- дорабатывать законодательство, издавать законы, которые будут защищать леса от вырубки;
- привлекать к административной или уголовной ответственности за вырубку леса;
- для увеличения количества лесов отбирать самые стойкие породы для высадки;
- сохранять ландшафт леса;
- создавать заповедники;
- улучшать и разрабатывать новые способы применения древесных отходов;
- запретить неограниченный вывоз сырья за границу.

Каждый рядовой гражданин может внести вклад в борьбу с обезлесением:

- озеленять территорию на своих участках;
- экономно пользоваться продукцией из древесины;
- сажать деревья около домов, во дворах, близ деревень, по берегам рек;
- при обнаружении только начинающегося пожара попытаться потушить, в случае неуправляемого огня сообщить по бесплатной линии лесной охраны, либо в органы, связанные с обеспечением противопожарной безопасности.
- сообщать о попытках незаконной вырубки лесов.

В зависимости от тяжести преступления за незаконную вырубку леса следует наказание по ст.260 УК РФ. Оказать влияние на проблему незаконной вырубки леса может каждый гражданин. Достаточно заявить в соответствующие органы. Первоначально можно проинформировать местное лесничество. Записать, сколько людей принимает участие в вырубке, сделать фото, зафиксировать номера машин и количество единиц техники.

На основании вышеизложенного проблема пожаров и вырубки лесов остается одной из самых серьезных не только в Красноярском крае, но и по всему миру.

Скорость восстановления лесной растительности гораздо ниже, чем скорость ее убыли. Планете наносится большой ущерб от потери лесов. Если не усиливать предпринимаемые меры, не учить каждого гражданина вносить посильный вклад в решение данной проблемы, все может привести к экологической катастрофе.

Таким образом, в результате исследования проведен анализ информационных баз, касающихся развития лесопромышленного комплекса Красноярского края. Выделены ключевые экологические аспекты. Показано, что данные вопросы тесно взаимосвязаны с промышленным развитием лесной отрасли. В качестве ключевого аспекта выделен вопрос лесовосстановления. Именно от того как восстанавливаются лесные ресурсы, каково внимание общества и каждого человека к данному вопросу зависит будущее как региона, так и всего российского общества. Экологические вопросы становятся в современном мире одними из ключевых. Это подтверждается как теоретическими исследованиями, так и практикой жизни. Авторами планируется продолжение исследования данной проблематики.

*Участие в 23 международной научной конференции “Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI-го века” поддержано Красноярским краевым фондом науки».*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный портал Красноярского края [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krskstate.ru/about/kray>. – Дата доступа: 20.02.2023.
2. Единая межведомственная информационно-статистическая система. [Электронный ресурс] // Площадь лесных земель, пройденная пожарами. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/38496>. – Дата доступа 21.02.2023.
3. Национальный проект «Экология». [Электронный ресурс] // Экология России. – Режим доступа: <https://ecologyofrussia.ru/proekt/>. – Дата доступа 22.02.2023.
4. Лесной кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: 04 декабря 2006 г., № 200-ФЗ: принят Гос. Думой 8 нояб. 2006 г.: одобр. Советом Федерации 24 нояб. 2006 г.: в ред. Федер. Закона от 29.12.2022 г. // КонсультантПлюс. Россия / СПС «Консультант Плюс». – М.
5. Министерство лесного хозяйства Красноярского края. [Электронный ресурс] // Лесной план Красноярского края. – Режим доступа: <http://mlx.krskstate.ru/lesplan?eyes=no>. – Дата доступа 20.02.2023.

# ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОВТОРНОГО ЗАБОЛАЧИВАНИЯ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ

## ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF THE REWETTING OF THE RECLAIMED TERRITORIES OF BELARUS

**Ю. Г. Лях<sup>1,2</sup>, М. С. Красновская<sup>1,2</sup>, К. А. Якимович<sup>1,2</sup>**

**Y. Lyakh<sup>1,2</sup>, M. S. Krasnovskaya<sup>1,2</sup>, K. A. Yakimovich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт  
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
Yury\_liakh.61@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

В статье представлен материал о значении мероприятий по повторному заболачиванию ряда территорий Беларуси, которые подверглись мелиорации в середине 60-х годов. В тот период для мелиорации выдвигались самые разнообразные цели, но в каждой из них присутствовал тезис – рост благосостояния народа. Естественно, как в те далекие годы, так и в настоящий период – кто будет против улучшения благосостояния? И на сегодняшний день этот тезис является актуальным во всех сферах деятельности Республики Беларусь. Но есть одно отличие в сегодняшнем стремлении повысить благополучие народа. Это отличие состоит в принятии взвешенных, научно обоснованных, экологически продуманных решений при проведении мелиоративных работ, или, наоборот – при проведении мероприятий направленных на реинтеграцию осушенных земель. Сейчас многие признали ошибки и недочеты, которые были совершены в процессе масштабной мелиорации Белорусских болот, заболоченных пойм рек, лугов и целого ряда других территорий, которые по причине переувлажненности выбывали из севооборота сельскохозяйственных предприятий. Пришло время исправить эти недочеты и ошибки. Настоящее время характеризуется стремлением народа Беларуси максимально использовать осушенные в прошлом столетии земли путем приведения в порядок мелиоративных систем и, одновременно реанимировать и вернуть природе земли, которые в результате непродуманных действий пришли в запустение или вообще оказались на грани мини экологических катастроф. Процесс этого возврата не быстрый. Потребуется десятки лет для реинтеграции таких земель с обязательным научным сопровождением всех протекающих биологических процессов проходящих на восстанавливающихся территориях.

The article presents material on the importance of measures for the rewetting of a number of territories of Belarus, which were subjected to reclamation in the middle of the 60s. At that time, a wide variety of goals were put forward for land reclamation, but in each of them there was a thesis - the growth of the well-being of the people. Naturally, both in those distant years and in the present period – who will be against the improvement of well-being? And today this thesis is relevant in all spheres of activity of the Republic of Belarus. But there is one difference in today's desire to improve the well-being of the people. This difference lies in the adoption of balanced, scientifically sound, environmentally sound decisions when carrying out land reclamation work, or, conversely, when carrying out activities aimed at the reintegration of drained lands. Now many have recognized the mistakes and shortcomings that were made in the process of large-scale reclamation of the Belarusian swamps, swampy floodplains, meadows and a number of other territories, which, due to waterlogging, were eliminated from the crop rotation of agricultural enterprises. It's time to correct these shortcomings and errors. The present time is characterized by the desire of the people of Belarus to make the most of the lands drained in the last century by putting the reclamation systems in order and, at the same time, to reanimate and return to nature the lands that, as a result of ill-conceived actions, have fallen into disrepair or even turned out to be on the verge of mini-environmental catastrophes. The process of this return is not fast. It will take decades for the reintegration of such lands with the obligatory scientific support of all ongoing biological processes taking place in the recovering territories.

**Ключевые слова:** мелиорация, повторное заболачивание, экологические процессы, реинтеграция мелиорированных земель, пресноводные моллюски, биологические индикаторы.

**Keywords:** melioration, rewetting, ecological processes, reintegration of reclaimed lands, freshwater mollusks, biological indicators.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-54-57>

Исправить допущенные ошибки, которые совершили предыдущие поколения наших сограждан, даже если эти ошибки были допущены во благо - перспективные задачи граждан современной Беларуси.

В данной статье пойдет речь о технических ошибках, допущенных при проведении мелиорационных работ, в процессе которых были осушены огромные территории первозданных болот и переувлажненных территорий Беларуси. Людям, которые разрабатывали эти мероприятия, на тот момент было очень сложно предусмотреть все негативные моменты, которые могли проявиться спустя 25-50 и более лет. Кроме всего перед учеными, проектировщиками и специалистами, которые выполняли эти работы, стояла главнейшая задача увеличить, за счет мелиорированных земель, посевные площади сельскохозяйственных культур.

Беларусь как аграрная страна всегда испытывала недостаток земельных угодий для выращивания многочисленных сельскохозяйственных культур, в том числе и технической направленности, мелиорация, на тот период, позволила этот дефицит восполнить.

В 60-70-е годы пока разрабатывался план широкой мелиорации болот в Беларуси, в первую очередь, навели порядок с небольшими участками закустаренных площадей, и территорий которые, без использования специальных технических средств, невозможно было вернуть в севооборот. Эти действия явились своеобразным опытным звеном в проведении дальнейшего осушительного процесса. Убедившись в получении экономического эффекта, и оценив технические возможности, в Беларуси приступили к проведению широкомасштабной мелиорации [1].

К середине 60-х годов было мелиорировано не более 1 млн. га земель. В 1975 г. площадь мелиорированных земель уже составляла 2,2 млн. га, в 1990 г. – 3,3 млн. га, в том числе 2,9 млн. га сельхозугодий.

Из первоочередного мелиоративного фонда Беларуси, составляющего к середине XX века по оценкам почвоведов и специалистов по земельным ресурсам около 4,5 млн. га, за период 1960-1990 гг. осушено около 3,4 млн. га, из которых 2,9 млн. га были представлены сельскохозяйственными угодьями.

Следует сказать, что на тот момент это был определенный успех и проведенные мероприятия предоставили сельскому хозяйству Беларуси огромные перспективы.

К примеру, если в естественном (неосушенном) состоянии травяной растительный покров пойменных болот в большинстве случаев имел незначительную кормовую ценность, низкую урожайность. То, после мелиорации на местах бывших заболоченных территорий, достигалась невероятная урожайность сельскохозяйственных травяных культур.

Были получены рекордные урожаи зерновой группы и корнеклубнеплодов. Культурные пастбища, которые формировались в огромных количествах, позволили мясному и молочному скотоводству Беларуси взять новые рубежи по увеличению этого вида продукции. Использование культурных пастбищ позволило избавить животноводство Беларуси от многих вирусных, бактериальных и паразитарных заболеваний. Дало возможность и создало условия для выведения новых высокопродуктивных пород крупного рогатого скота.

Впоследствии, в связи с политическими и социальными преобразованиями с 1990 г. по 2000 г. были введены в эксплуатацию только 100 тыс. га мелиорированных земель, в основном объекты, строительство которых было начато еще в Советском Союзе [2, с. 323].

Вторым, не менее важным направлением мелиорации и осушения болот было получение доступа к технической и промышленной добыче торфа, который широко используется в народном хозяйстве: в химической промышленности, медицине, при производстве строительных материалов. В Беларуси торф пока еще является одним из топливных компонентов, на основе которого производят брикеты.

Бесконтрольная выборка этого богатейшего сырья с целью использования его в качестве топлива, миллионами тонн вывозилась из Беларуси во многие регионы Советского Союза и ряда зарубежных стран. Это привело к истощению торфоразработок, а в ряде регионов и к полной ликвидации торф предприятий.

Если после выработки торфа площадь планируется использовать под сельскохозяйственные культуры, то торф не должен выработаться до дна не менее чем на 0,5 м, а для прудового хозяйства - не менее чем на 0,15 м. Очень часто эти требования не выполнялись, а на некоторых участках торф изымали практически под ноль.

В Беларуси торф для сельского хозяйства используется в следующих направлениях: торфонавозные компосты, сбалансированные органические удобрения на основе вторичного органического сырья с добавками торфа или сапропеля для возделывания пропашных культур и производства овощей в открытом грунте;

- комплексные гранулированные удобрения длительного действия для хозяйств, расположенных на почвах легкого гранулометрического состава, а в природоохранных зонах - на всех почвах;
- мелиорирующие смеси и растительные грунты для зеленого строительства, реабилитации загрязненных земель, городских ландшафтов и др.;
- грунты и субстраты для выращивания рассады и малообъемной технологии производства овощей в теплицах;
- регуляторы роста и экологически безопасные средства защиты растений, биологически активные добавки к минеральным удобрениям, повышающие коэффициент использования элементов питания;
- жидкие гуминовые удобрения с микроэлементами для некорневой подкормки растений;
- кормовые добавки в рацион, биологически активные препараты для животноводства и ветеринарии, повышающие устойчивость к заболеваниям и продуктивность животных.

Еще как то можно оправдать использование торфа в аграрной отрасли, для приготовления органических удобрений, торфяной подстилки скоту, изготовление субстанций для тепличного производства овощей и целого



ряда направленностей приведенных ранее. В этом случае (в конечном итоге) торф является одним из компонентов почвы, улучшает ее качественный состав. Без сомнения, мелиорация земель сыграла ведущую роль, без нее интенсификация сельского хозяйства в этом регионе была бы просто невозможна.

В то же время, когда торф отправляется в топки печей и котлов он навсегда теряет свои природные биологические свойства. Если рассмотреть простейший пример состава золы некоторых органических веществ то заметим, что, в зависимости от материала горения меняется и структура веществ, входящих в состав золы.

Так, больше всего фосфора в золе из-под соломы хлебных злаков – около 4,7 %, меньше всего из под торфа – 1,2 %. Калия, из под стеблей подсолнечника – 36–40 %, менее всего из под торфа – 1%.

Торф, как видим, наиболее бедный материал для производства золы и использовать такую золу в растениеводстве, по сути, не рентабельно. В итоге, особенно пострадали места, где проводилась бесконтрольная выборка торфа для использования его в качестве топлива. Эти участки превратились в прямом смысле в пустыни, где из растений могут произрастать только те, которые совершенно не требовательны к питательным веществам. Выработанные торфяники подразделяются на карьеры и поля. Карьеры и затопляемые поля непригодны даже для создания лесных культур. Создавать лесные культуры на торфяных выработках есть возможность только в первые 2–3 года после прекращения добычи торфа, до задернения почвы, появления обильного возобновления ивняков и второстепенных древесных пород.

Еще в 50-е годы ученые отмечали возникновение некоторых противоречий, которые сложились в использовании торфяников в качестве источника топлива и для сельского хозяйства. Н.И. Пьявченко в своих научных трудах указывал – «Следует иметь в виду, что в связи с интенсивной разработкой торфяников на топливо площадь луговых угодий неуклонно сокращается. Площадь выработанных карьеров исчисляется в Русской лесостепи десятками тысяч гектаров и в дальнейшем еще более возрастет. Естественно, это обстоятельство отрицательно влияет на успешное выполнение мероприятий по развитию животноводства. Из сказанного можно сделать вывод, что между разработкой луговых торфяников на топливо и сельскохозяйственным производством возникает известное противоречие, корнящееся в недооценке значения торфяников пойменной группы для сельского хозяйства и использовании торфа почти исключительно на топливо. Однако это противоречие не антагонистическое и легко может быть разрешено путем организации комплексного использования торфяников, т. е. одновременно для добычи торфа на топливо и для сельскохозяйственных целей, на что мы указывали ранее ...» [5].

К сожалению, тогда еще не было четких представлений о том, какую роль играет болото в экосистеме. Сейчас не ставится под сомнение многогранная роль болот в сохранении биоразнообразия и поддержании экологического равновесия на земле.

В те далекие годы никто не мог даже предположить, что так стремительно в мире начнет развиваться индустриальная промышленность. И прогресс этой индустрии сумеет вызвать необратимые процессы на земном шаре. Никто не мог представить, что окружающую среду придется охранять. Изменение климата на планете Земля считалось фантастическим явлением.

Так случилось что первозданные болота, и то что от них осталось в настоящее время, стали считать «легкими Европы». Это связано с тем, что по последним научным данным, каждый гектар белорусских болот очищает воздух, как 13 гектаров заповедного леса, поэтому Беларусь, со своими многочисленными болотами очищает атмосферу с эффективностью участка тайги размером с Польшу или Италию. Они смягчают климат и увлажняют воздух во всей Европе.

В настоящее время в Республике Беларусь основным направлением в области мелиорации почв является получение максимальных доходов от сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования мелиорированных земель при минимальных затратах на их обслуживание с одновременным обеспечением экологических требований.

Государственный контроль за мелиорацией, рекультивацией земель и их использованием осуществляется в порядке, установленном Правительством Республики Беларусь.

Потеря мелиорированных земель для сельскохозяйственного производства Беларуси может означать не только снижение валового сбора сельскохозяйственной продукции, ухудшение состояния транспортных коммуникаций, условий работы и проживания людей, но в конечном итоге угрозу продовольственной независимости государства и возрастание социальной напряженности.

Не случайно Президент Республики Беларусь и Правительство в последнее время принимают энергичные меры для сохранения созданного мелиоративного комплекса и, особенно для повышения эффективности его работы. В этом состоит основная цель принимаемых решений.

Вместе с тем достижение поставленной цели должно базироваться на максимальной экономии ресурсов, направляемых для содержания и развития мелиоративного комплекса, повышении эффективности использования мелиорированных земель. Решение поставленной задачи требует объективного анализа технического состояния мелиоративных систем и перспектив их использования.

В этой связи определенную часть ранее мелиорированных территорий наше государство посчитало рациональным возратить природной среде. Попытаться, под контролем экологов, реинтегрировать их в экологический биоценоз. Экологическая интеграция – решение комплекса экологических проблем, связанных с воздействием хозяйственной деятельности человека на окружающую природную среду. Реинтеграция – возобновляемое действие, указывающее на какое-то повторное действие, то есть на воссоединение частей целого. Эти части уже



были когда-то одним целым, затем по каким-то причинам перестали быть частью целого и после определенных событий снова восстанавливаются [4].

Повторное заболачивание ранее осушенных болотных территорий это мероприятие, которое позволит в течение десятков лет восстановить биологический ресурс и возобновить этим биотопам свою эколого-биологическую роль в природной среде Беларуси [3].

Каждому биоценозу соответствует зона с однородными абиотическими экологическими факторами, называемыми биотопом (греч. *topos* – место). В данной ситуации мониторинг будет осуществляться на основании контроля биоиндикаторов, обычных видовых представителей этой среды.

Среди обитателей экосистем, которые подвергаются повторному заболачиванию, широкой массой выступают пресноводные моллюски. Они и явились объектами наших исследований. Причиной такого выбора стал тот факт, что моллюски являются хорошими биоиндикаторами. Это связано с их относительно высокой чувствительностью к антропогенным факторам и возможностью исследовать их раковины с целью анализа видового состава экосистемы в настоящем и прошлом. Процесс повторного заболачивания это многогранное явление, где все биологические моменты следуют один за другим. Изучение и анализ всех технологических приемов плановой и поступательной рекультивации мелиорированных территорий актуальная задача, которая стоит перед экологами Беларуси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голод, Д.С. Структурные изменения природно-растительного комплекса и динамика биоразнообразия растительности в связи с мелиорацией земель Белорусского Полесья / Д.С. Голод // Стратегия сохранения и использования водных ресурсов и биологического разнообразия в Полесье, межд. семинар, 29-31 мая, 2003 г.: материалы. – Пинск, 2003. – С. 124–126.
2. Логинов, В. Ф. Основы экологии и природопользования / В.Ф. Логинов. – Мн., 1998. – 323 с.
3. Лях, Ю.Г. Экологическое значение пресноводных моллюсков для сохранения трематодной инвазии в местах повторного заболачивания / Ю.Г. Лях, А.С. Веремчук, Н.Р. Шапрунов // XXV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства». – г. Горки, 18-20 мая 2022. – С.146–150.
4. Проблемы Полесья. – Вып. 12. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 184 с.
5. Пьявченко, Н.И. Торфяники Русской лесостепи / Н.И. Пьявченко // М.: Издательство академии наук СССР, 1958. – 191 с.

### НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (НДТ) ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES (BAT) FOR THE PREVENTION AND CONTROL OF INDUSTRIAL POLLUTION

**Ю. И. Буткевич<sup>1,2</sup>, К. М. Мукина<sup>1,2</sup>**  
**Y. Butkevich, K. Mukina**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
[englishbutkevich@mail.ru](mailto:englishbutkevich@mail.ru)

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Все большее число стран используют наилучшие доступные технологии (НДТ) для определения уровней промышленных эмиссий, устанавливаемых на фактических данных по итогам обсуждения с участием многих заинтересованных сторон. Мировые политики в сфере НДТ являются надежным средством предотвращения или сокращения эмиссий отраслей промышленности, характеризующихся наибольшим вкладом в загрязнение окружающей среды. Они также представляют собой инструмент для более широкого рассмотрения воздействия промышленной деятельности на окружающую среду, например, путем корректировки объема используемых ресурсов, предотвращения образования отходов, замещения токсичных веществ и совершенствования производственных процессов, а также минимизации воздействий, способных нарушить штатный режим работы предприятия.

An increasing number of countries are using the best available technologies (BAT) to determine the levels of industrial emissions, established on the basis of evidence based on the results of multi-stakeholder discussions. Global BAT policies are a reliable means of preventing or reducing emissions from industries characterized by the greatest contribution to environmental pollution. They are also a tool for a broader consideration of the impact of industrial activities on the environment, for example, by adjusting the amount of resources used, preventing waste generation, replacing toxic substances and improving production processes, as well as minimizing impacts that could disrupt the normal operation of the enterprise.

*Ключевые слова:* наилучшие доступные технологии (НДТ), промышленное загрязнение, совершенствование производственных процессов, токсичные вещества, атмосферный воздух.

*Keywords:* best available technologies (BAT), industrial pollution, improvement of production processes, toxic substances, atmospheric air.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-57-61>

На сегодняшний день при рассмотрении вопросов, связанных с уменьшением негативного воздействия на окружающую среду, все чаще поднимается вопрос о необходимости технологической модернизации в отраслях промышленности с применением принципов «наилучших доступных технологий» (НДТ).

НДТ – это модернизация крупных производств, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения; инновационные решения в целях уменьшения негативного воздействия на окружающую среду; гарантия экологической безопасности производства.

Для качественного перехода промышленных предприятий на принципы НДТ, необходимо учитывать оптимальные уровни воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду, а также важно предусмотреть состояния этих предприятий, для которых разрабатываются технические справочники по НДТ.

Технические справочники по НДТ представляют собой документы, разрабатываемые на основе информационного обмена между всеми заинтересованными сторонами, организованного в соответствии с требованиями законодательства и содержащие описание применяемых методов (технологий, решений, используемых во время всего технологического процесса, систем менеджмента и т. д.), текущие уровни эмиссий и уровни потребления ресурсов, описание наилучших доступных технологий (или Заключения по НДТ) и перспективных технологий [1].

Впервые понятие «наилучшие доступные технологии без чрезмерных затрат» (best available techniques not entailing excessive costs - BATNEEC) появилось в 1984 году в Директиве Рабочей группы Евросоюза (ЕС) по атмосферному воздуху (Air Framework Directive). Данная Директива регулировала выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от крупных промышленных предприятий. Далее, в 1996 г. с принятием Директивы ЕС по комплексному предупреждению и контролю загрязнений (IPPC Directive, 96/61/EC) данное понятие было сокращено до «НДТ – наилучшие доступные технологии» (BAT – best available techniques), но его охват был расширен с включением вопросов их применения, а также контроля над загрязнением атмосферного воздуха, водных объектов и почвы. Более широкое распространение понятие НДТ получило в Организации Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР) в 2016 году в ходе презентации «Проекта НДТ» [2].

Смысл понятия НДТ заключается в следующем:

- под «наилучшей» понимается технология, основанная на достижении общего высокого уровня защиты окружающей среды;

- под «доступной» понимается технология, которая достигла уровня, позволяющего обеспечить ее внедрение в соответствующем секторе промышленности с учетом экономической и технической обоснованности, принимая во внимание затраты и преимущества. При этом субъект хозяйственной деятельности должен иметь к ней доступ, вне зависимости от того, разработана ли обсуждаемая технология в том государстве, в котором предполагается ее использование;

- «технология» относится как к используемой технологии, так и к способам, в соответствии с которыми, объект спроектирован, построен, эксплуатируется и выводится из эксплуатации [1].

На крупные промышленные и агропромышленные установки приходится значительная доля общего антропогенного воздействия на окружающую среду. Они могут потреблять большие объемы материалов, химических веществ, энергии и воды. Они могут выделять значительные количества загрязняющих веществ в воздух, воду и почву и генерировать существенную долю опасных и неопасных отходов.

Учитывая разнообразие установок, установление предельно допустимых параметров воздействия на окружающую среду для каждой из них является сложной задачей для регулирующих органов. Дело осложняется, когда разрешения выдаются на местном уровне, а должностные лица не имеют опыта работы со значительным количеством аналогичных установок. Использование Справочных документов по НДТ (BREF) – это решение, используемое в целом ряде юрисдикций по всему миру, которое способствует установлению условий выдачи разрешений для промышленных установок. На рисунке 1 показано, какое место они занимают в нормативной правовой базе и что собой представляет общий режим регулирования, предусмотренный этим документом. В документе также отражены вопросы выбора секторов для регулирования и разработки условий выдачи разрешений.



Рисунок 1 – Структура схемы регулирования воздействия промышленности на окружающую среду.

### НДТ в Европейском Союзе

- В 1984 г. принята первая Директива Совета 84/360/ЕС, которая предусматривала, что государства должны реализовывать политику поэтапного перехода предприятий основных отраслей промышленности, отнесенных к категориям, на принципы НДТ. Принципы НДТ - модернизация и обновление существующих производств, строительство производств, отвечающих мировым показателям энергетической эффективности и ресурсосбережения. Контроль начиная с начала процесса, а не на конце трубы. Термин НДТ подразумевает, что такая технология является самой лучшей с точки зрения соблюдения экологических требований и доступной для лиц, заинтересованных в ее применении [2].

- Выдано 52000 комплексных экологических разрешений предприятиям, перешедшим на принципы НДТ.

- Директива Евросоюза 2008/1/ЕС «О комплексном контроле и предотвращении загрязнения» регламентирует систему выдачи разрешений на осуществление хозяйственной деятельности. Общая цель принятого комплексного подхода заключается в совершенствовании регулирования и контроля производственных процессов для обеспечения высокого общего уровня защиты окружающей среды. Разработано 34 BREF-технических справочников.

- В Евросоюзе НДТ представлены в виде справочных рекомендательных документов для отдельных отраслей промышленности, учитывающие все технологические процессы и их аппаратное оснащение с учетом экологических воздействий и экономических затрат. Справочники по НДТ являются основой как для субъектов предпринимательской деятельности при выборе технологий, так и для уполномоченных государственных органов при выдаче разрешений допустимого воздействия на окружающую среду.

- Европейское Бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений (Бюро IPPC) было создано в Севилье (Испания) в 1997 г. в рамках Института перспективных технологических исследований (IPITS). Бюро IPPC осуществляет организацию и координацию информационного обмена на европейском уровне, результатом которого является разработка или пересмотр BREF в соответствии с положениями Руководящего документа по информационному обмену. Эксперты Бюро IPPC осуществляют управление, руководство и координацию деятельности технических рабочих групп (ТРГ), а также направляют проекты BREF на рассмотрение в ТРГ для комментариев и замечаний [3].

**Меры стимулирования промышленных предприятий для перехода на НДТ в ЕС.** Норвегия: снижение процентной ставки за кредиты; освобождение от возврата части кредитов (до 50 процентов) если ввод новых производственных мощностей или технического перевооружения осуществлены в обусловленный договором срок; освобождение от возврата кредита в случае неудачи проведения мероприятий с высокой степенью риска; предоставление государственных гарантий коммерческим банкам, выделяющим льготные кредиты предприятиям, развивающим сферу ресурсосбережения, заготовки и переработки отходов.

Финляндия: 2,7–4,5 миллиардов евро в области субсидий, связанных с производством, которые могут помочь изменить ситуацию с окружающей средой, в основном в области энергетики, транспорта и сельского хозяйства. Аналогичное субсидирование применяют во Франции, Германии.

Швеция инвестировала средства в окружающую среду в целях содействия инновациям и росту на национальном и международном уровнях, выделяя значительные средства на научные исследования и разработки (НИОКР).

Польша, Чехия, Словакия – экономическое стимулирование НДТ осуществляется через государственные экологические фонды (экологические платежи, поступления от недропользования, платежи за пользование природной средой). Фонды ЕС, а также займы и субсидии из экологических фондов, гранты Норвегии [4].

**НДТ в Российской Федерации.** С 2019 г. проектирование новых предприятий основано только на основе НДТ; с 1 января 2019 г. из 11,5 тыс. опасных экологических объектов первые 300 предприятий I категории должны получить комплексное экологическое разрешение (КЭР) – «мандат» соответствия принципам НДТ.

Принят федеральный закон от 21 июля 2014 №219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Технологические нормативы устанавливаются комплексным экологическим разрешением на основе технологических показателей НДТ, что является гарантией достижимости этих нормативов и, следовательно, стимулирует предприятия внедрять НДТ.

Разработано 51 информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям.

В качестве организации, исполняющей функции Бюро наилучших доступных технологий, Правительство РФ определило ФГАУ НИИ «Центр экологической промышленной политики» [1].

**Меры стимулирования промышленных предприятий для перехода на НДТ в РФ.** Поступающие средства аккумулируются в особых экологических фондах с тем, чтобы на местном и региональном уровнях их можно было использовать именно в природоохранных целях. К льготам, применяемым в ходе внедрения НДТ, относятся зачет платы за негативное воздействие в счет инвестиций; отказ от взимания платы за негативное воздействие после внедрения НДТ; применение нулевого коэффициента к ставкам платы.

Механизмы монетарного стимулирования. Рентабельность в большинстве отраслей промышленности сейчас меньше ставок по рублевым кредитам, это минимизирует инвестиции и, в конечном счете, тормозит рост. Для внедрения НДТ в российской промышленности, необходимо обеспечение доступности финансирования промышленным предприятиям на конкурентоспособных и посильных условиях.

**НДТ в Республике Беларусь.** С 1 января 2012 г. в Республике Беларусь все природопользователи получают комплексные природоохранные разрешения, а с 1 января 2016 г. осуществляют указанную деятельность только при наличии комплексных природоохранных разрешений.

Национальная стратегия внедрения комплексных природоохранных разрешений на 2009–2020 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.07.2009 № 980 определяет задачи и перспективные направления деятельности по внедрению комплексных природоохранных разрешений (КПР) в Республике Беларусь, а также наилучших доступных технических методов (НДТМ) как механизм комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды.

Центр НДТМ Республиканское унитарное предприятие «Центр международных экологических проектов, сертификации и аудита «Экологияинвест» занимается обеспечением сбора и распространения среди заинтересованных информацией о НДТМ: оказание технической помощи природопользователям при составлении заявки на получение комплексного природоохранного разрешения, выдача заключения по запросу Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и его территориальных органов о соответствии заявки на получение комплексного природоохранного разрешения НДТМ в соответствующей отрасли экономики.

Пособия по НДТМ (справочники). В основу разработки этих документов положены соответствующие справочники ЕС [4].

Алгоритм выбора НДТ при реализации на предприятии:

1. Потребление ресурсов (энергия, сырье, вспомогательные материалы)
2. Факторы воздействия на окружающую среду (выбросы, образование производственных отходов, образование сточных вод, шум и методы сокращения шумового воздействия)
3. Возможность улучшения технологических показателей (в процессе реконструкции, внедрение технических средств и систем менеджмента)
4. Экономическая рентабельность

В качестве примера эффективного внедрения НДТ можно привести сертификацию выбросов вредных веществ автомобильным транспортом. За четверть века пройден путь от ЕВРО-1 до ЕВРО-5. То есть на каждые пять лет устанавливались европейские достижимые нормы выбросов. Это классический пример поэтапного перехода на НДТ, включающий реализацию требований экологической безопасности и к двигателям, и к топливу. Таким же примером могли бы стать водоканалы наших больших городов, которые уже перешли или переходят на НДТ, внедрили международные экологические стандарты и создали службы экологического менеджмента.

Таким образом можно сделать вывод, что применение НДТ для предотвращения и контроля промышленного загрязнения отразится не только на экономической составляющей деятельности промышленных предприятий, но и на экологической, будет стимулировать их к модернизации, обеспечив качественно новый подход к организации всей хозяйственной деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тяглов, С.Г., Воскресова, Г.Н. Особенности определения технологии в качестве НДТ: российский и зарубежный опыт/ С.Г. Тяглов, Г.Н. Воскресова // Вопросы регулирования экономики, 2019, №2, том 19, с. 96–112.
2. Директива Европейского парламента и Совета ЕС 96/61/ЕС от 24 сентября 1996 г. «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений» (Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control).



3. Наилучшие доступные технологии. Предотвращение и контроль промышленного загрязнения. Этап 3: Оценка действенности политик в сфере НДТ. / Управление по окружающей среде, здоровью и безопасности Дирекции по окружающей среде ОЭСР. Пер. с англ. Москва, 2019. 164 с.

4. Наилучшие доступные технологии. Предотвращение и контроль промышленного загрязнения. Этап 4: Руководство по определению НДТ и установлению уровней экологической эффективности для выполнения условий получения экологических разрешений на основе НДТ. / Управление по окружающей среде, здоровью и безопасности Дирекции по окружающей среде ОЭСР. Перевод с английского. Москва, 2020. 81 с.

## **ОБОСНОВАНИЕ УСТАНОВКИ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ДЕТСКОГО МОЛОЧНОГО ПИТАНИЯ**

### **JUSTIFICATION FOR THE INSTALLATION OF LOCAL TREATMENT FACILITIES AT THE ENTERPRISE FOR THE PRODUCTION OF BABY DAIRY FOOD**

***Е. К. Баева<sup>1,2</sup>, В. М. Мисюченко<sup>1,2</sup>, М. П. Симонова-Лобанок<sup>3</sup>***

***Е. К. Baeva<sup>1,2</sup>, V. M. Misiuchenka<sup>1,2</sup>, M. P. Simanova-Lobanok<sup>3</sup>***

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь  
evabaevaa@inbox.ru*

*<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>3</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Рассмотрены технические решения по строительству локальных очистных сооружений для очистки сточных вод предприятия молочной промышленности, а также альтернативный проект локальных очистных сооружений, использующий образующиеся в составе сточных вод органические соединения, фосфор и азот, образующиеся при использовании моющих средств, а также при потерях сливок, молока, молочной сыворотки, для добычи биогаза с целью его дальнейшего использования в теплоэнергетическом хозяйстве. Выявлены превышения предельно допустимых концентраций ХПК, БПК<sub>5</sub>, взвешенных веществ, азота и фосфора до внедрения проекта локальных очистных сооружений.

Technical solutions to the construction of local treatment facilities for wastewater treatment of a dairy industry enterprise are considered, as well as an alternative project of local treatment facilities, using organic compounds formed in the composition of wastewater, phosphorus and nitrogen formed during the use of detergents, as well as during the loss of cream, milk, whey, for the extraction of biogas from the purpose of its further use in heat and power economy. Excesses of the maximum permissible concentrations of COD, BOD<sub>5</sub>, suspended solids, nitrogen and phosphorus are revealed before the implementation of the project of local treatment facilities.

*Ключевые слова:* локальные очистные сооружения, сточные воды, загрязняющие вещества, предельно допустимая концентрация.

*Keywords:* local treatment facilities, wastewater, pollutants, maximum allowable concentration.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-61-64>

При разработке проектной документации по строительству локальных очистных сооружений для предприятия по производству детского молочного питания в Брестской области предусматривалось внедрение комбинированных современных очистных сооружений с мембранным биореактором и системой ультрафильтрации. До внедрения проекта все сточные воды предприятия направлялись без предварительной очистки по самотечному коллектору в коммунальную канализационную насосную станцию, а далее на городские очистные сооружения совместно с городскими канализационными стоками.

До внедрения проекта концентрация ХПК, характеризующая степень загрязнения стоков органическими веществами при мойке оборудования, а также потери молочного продукта, превышала ПДК при сбросе в коллектор в 4 раза и в среднем составляла 6050 мгО<sub>2</sub>/л; концентрация БПК<sub>5</sub>, повышающаяся в результате потерь



сливок, цельного, обезжиренного молока, молочной сыворотки – в 3,8 раз (составляла 3050 мгО<sub>2</sub>/л); взвешенных веществ, являющихся частицами твёрдых продуктов переработки молока, попадающими в сточные воды при мойке оборудования и тары – в 2,8 раз и составляла 1270 мг/л; концентрация азота, фосфора, образующиеся при использовании азотсодержащих и фосфорсодержащих моющих средств, а также при потерях сливок, цельного, обезжиренного молока, молочной сыворотки, превышала ПДК в 4 раза и в 9 раз соответственно и составляла 171 мг/л (65 мг/л).

Таким образом, основная часть сточных вод образуется в ходе санитарной обработки. Вода используется для ополаскивания производственной линии при смене выпускаемого продукта, в начале и в конце работы установок кратковременной и высокотемпературной пастеризации, а также для промывки некоторой продукции, например, творожного зерна. Потери продукции при производстве молока могут составлять 3–4 %. Потери молока и молочных продуктов могут быть в процессе санитарной обработки; в трубопроводах и установках от смешивания с вытесняющей водой, в начале и по завершению работы поточных теплообменных установок; вследствие случайного пролива. Утечка продукции в сточные воды значительно увеличивают их ХПК, БПК<sub>5</sub>, содержание азота и фосфора.

Для разгрузки коммунальной канализационной сети, в соответствии с рекомендациями, указанными в разрешении на спецводопользование, и требованиями действующих ТНПА, предприятием было принято решение о проектировании и строительстве собственных производственных локальных сооружений с организацией последующего сброса очищенного стока в коммунальные городские сети.

Основным видом деятельности рассматриваемого предприятия является переработка молока и производство молочных продуктов. В состав предприятия входит участок производства сухих молочных продуктов, использующий установку нанофильтрации, вакуум – выпарную установку, оборудование смешивания и подачи на сушку, распылительную сушилку для переработки образующейся в технологическом процессе сыворотки и получения сухой сыворотки в качестве единицы продукции.

На проектируемые локальные очистные сооружения будет поступать смесь сточных вод, образующихся в процессе производства молочных продуктов совместно с хозяйственно-бытовыми сточными водами предприятия.

С целью очистки сточных вод предприятия применялся адаптированный проект компании «WEHRLE Umwelt GmbH» по возведению высокоэффективной системы очистки сточных вод на базе МБР (мембранного биореактора). МБР представляет собой комбинацию биореактора и системы ультрафильтрации, где происходит отделение микроорганизмов (осадка), по этой причине нет потребности в обездвиживании микроорганизмов. Так, питательная среда и кислород становятся такими же доступными для бактерий, как если бы они находились в порах носителя.

Система состоит из следующих частей: приемный резервуар сточных вод; предварительная механическая очистка; усреднение и выравнивание стока; флотация; биологическая очистка; ультрафильтрация; вспомогательные системы; очистка дурнопахнущих выбросов (производственная вентиляция с отводом воздуха на очистку на биофильтр); система обезвоживания осадка.



Рисунок 1 – Схема проектируемых локальных очистных сооружений

Технология очистки сточных вод состоит из следующих этапов:

1. Механическая и физико-химическая очистка (на барабанном сите и флотаторе), с помощью которой снижается количество твердых (взвешенных) частиц, жира и связанного ХПК.
2. Биологическая очистка сточных вод, ультрафильтрационное разделение очищенного стока и активного ила, происходящие в мембранном биореакторе для достижения требуемых ПДК по всем биоразлагаемым параметрам, за исключением солесодержания (минерализации, хлоридов, сульфатов).

3. Сброс в принимающий объект.

Для системы очистки сточных вод необходимы следующие вспомогательные химические вещества:

- 1) дозированное введение NaOH (при необходимости нейтрализации кислых сточных вод);
- 2) дозированное введение фосфорной кислоты (необходимо для снабжения биологической системы фосфором для поддержания баланса питательных веществ в биореакторе);
- 3) дозированное введение пеногасителя (для предотвращения потери активной биомассы при возможном образовании пены в результате комбинации некоторых веществ сточных вод с качественными аэрационными и биологическими процессами);
- 4) химические вещества для чистки мембран (используются нейтральные (для общей очистки), щелочные (для удаления биологических загрязнений с поверхности мембраны) и кислотные (для удаления неорганических осадков с поверхности мембраны) очищающие средства;

- 5) коагулянт и флокулянт для установки флотации;
- 6) полимер/флокулянты для обезвоживания.

Применяемая процедура гарантирует предельно успешную биологическую очистку и ультрафильтрацию с целью отделения биомассы от очищаемых сточных вод. Использование мембранной фильтрации для отделения биомассы от очищаемых стоков создаёт возможность достижения достаточно малогабаритного размера возведения, высоких стандартов очистки и полного удаления микроорганизмов из сточных вод.

Концепция предусматривает строительство мембранного биореактора с производительностью 1800 м<sup>3</sup>/сутки, с возможностью увеличения производительности до 2100 м<sup>3</sup>/сутки посредством установки дополнительного блока ультрафильтрации, с выпуском очищенных сточных вод в сети городской канализации г. Иваново.

Проектом предусматривается подключение объекта к внутриплощадочным сетям хозяйственно-питьевого водопровода. Проектируемые общие расчетные расходы воды на объект составляют:  $Q_{\text{сут}} = 87 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $q_{\text{час}} = 28,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $q_{\text{сек}} = 19 \text{ м}^3/\text{с}$ , из них 98,8% воды приходится на производственные нужды.

С учетом анализа состава поступающих на очистку сточных вод, рассмотрен альтернативный вариант локальных очистных сооружений производственных сточных вод молочного производства, с добычей биогаза с целью его дальнейшего использования в теплоэнергетическом хозяйстве. Проект обеспечивает удаление органических загрязнений с одновременным удалением азота и фосфора.

С целью повышения экологической эффективности и экономических показателей технологической схемы локальных очистных сооружений предложена стабилизация образующихся в результате удаления органических и минеральных загрязнений из сточных вод осадков (уплотненного избыточного активного ила и флотошлама из флотатора) в ферментаторе в анаэробных условиях. Образующийся в процессе работы ферментатора биогаз, пройдя предварительную обработку на сетевом конденсатоотводчике, по запроектированному газопроводу будет отводиться к газодувке, которая подает биогаз на сгорание в модульную котельную.

Предусматривается внедрение технологии, предполагающей применение биологического реактора с отдельными камерами нитрификации, денитрификации и биологической дефосфатации, предусматривающей очистку производственных сточных вод от соединений азота и фосфора; внедрение технологии механического обезвоживания осадка сточных вод с предварительным уплотнением и сбраживанием в ферментаторе, получением и сбором биогаза; строительство модульной котельной, работающей на биогазе, для производства тепловой энергии на технологические нужды комплекса локальных очистных сооружений комбината.

После реализации проектных решений концентрация БПК<sub>5</sub> составит 20 мгО<sub>2</sub>/л, коэффициент очистки будет равен 98,9 %; концентрация ХПК – 115 мгО<sub>2</sub>/л, 96,2%; для взвешенных концентрация составит 25 мг/л, коэффициент очистки – 96,95; азота – 20 мг/л, 83,3%; фосфора – 5 мг/л, 87,5%.

Определен перечень загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух при эксплуатации проектируемых локальных очистных сооружений: аммиак, формальдегид, уксусная кислота, азота оксид, азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, сероводород, фенол, метан, этилмеркаптан, метилмеркаптан.

В связи с отсутствием разработанных и утвержденных методических документов для определения максимальных и валовых выбросов загрязняющих веществ, выделяющих от технологического оборудования очистных сооружений производительностью свыше 500 м<sup>3</sup> в сутки, качественный и количественный состав выбросов от проектируемых источников выбросов принят в соответствии с данными по качественному и количественному составу объектов-аналогов.

В качестве объекта-аналога приняты очистные сооружения, функционирующие на предприятии молочной промышленности Гродненской области. В рамках производственного аналитического контроля выполнены инструментальные замеры.

Валовый выброс загрязняющих веществ от существующих источников предприятия составляет 73 т/год. После реализации проектных решений валовый выброс предприятия составит 86 т/год.

Максимальное количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух от планируемых локальных очистных сооружений, приходится на метан и оксид углерода, составляющие по 5 т/год, а также оксид азота, количество которого составит 1,6 т/год.

Расчетная приземная концентрация формальдегида составила 0,83ПДК, этилмеркаптан = 0,54ПДК, фенола = 0,08ПДК, оксида азота = 0,04ПДК, аммиака = 0,01ПДК.

Таким образом, согласно результатам расчета рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы от проектируемых локальных очистных сооружений с учетом фоновых концентраций, на границе жилой застройки превышений предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе ни по одному из веществ не выявлено. На границе расчетной санитарно-защитной зоны, при самых неблагоприятных условиях (одновременность работы всех источников выделения загрязняющих веществ, опасных скоростях и направлениях ветра) превышения значений предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе отсутствуют.

Планируются и осуществляются мероприятия по внедрению наилучших доступных технических методов, строительство и ввод в эксплуатацию газоочистных установок, обеспечивающих выброс аммиака, фенола, формальдегида с концентрацией не более 20 мг/м<sup>3</sup>.

В рамках проектных решений по строительству производственных локальных очистных сооружений предусматривается также установка очистки воздуха, работающая по принципу биофильтрации (биофильтр). Воздух

будет направляться по системе воздуховодов с помощью вентиляторов на установку биофильтра. В соответствии с данными завода-изготовителя газоочистного оборудования (биофильтра), коэффициент очистки для аммиака, сероводорода составит более 95%; метилмеркаптана, этилмеркаптана – более 90%; оксида азота, фенола, формальдегида, уксусной кислоты – более 50%.

На основании анализа расчета шума, выполненного для дневного и ночного времени суток, выявлены превышения допустимых уровней шума в расчетных точках на границе расчетной санитарно-защитной зоны, на границе территории малоэтажной жилой застройки. В расчете шума учитывалось максимально возможное количество одновременно работающего оборудования (наихудший вариант).

В качестве мероприятий по снижению шумового воздействия от источников шума рассматриваемого предприятия в рамках проектных решений со стороны проектируемых производственных локальных очистных сооружений предусмотрено устройство шумозащитного экрана, высотой 4,0 м. В рамках Проекта санитарно-защитной зоны предусмотрено оснащение существующего вентиляционного оборудования шумозащитными кожухами. Числовое значение коэффициента изоляции воздушного шума, через которую проникает шум для шумозащитного кожуха, составляет 30 дБа.

На основании расчетов прогнозируемые уровни шума после реализации мероприятий по снижению шумового воздействия на расчетной санитарно-защитной зоне, на торцах зданий школьных и дошкольных учреждений образования, на границе территории застройки усадебного типа не превышают ПДУ звука в соответствии с санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами.

В рамках проектных решений по строительству производственных локальных очистных сооружений предусмотрено оборудование, являющееся источниками общей вибрации 1 и 3 категорий.

Для снижения негативного воздействия от источников вибрации предусмотрены следующие мероприятия: в воздуховодах приняты оптимальные скорости движения воздуха; оборудование подобрано с максимальным коэффициентом полезного действия. Учитывая виброзащитные (вибропоглощающие) препятствия, уровни общей вибрации за территорией промышленной площадки предприятия будут незначительны.

Контроль за физико-химическими характеристиками сточных вод будет осуществляться в собственной лаборатории локальных очистных сооружений, посредством устройства в здании локальных очистных сооружений собственной лаборатории для проведения экспресс тестов сточных вод по контрольным показателям. Для проведения анализов будут использоваться тест-системы экспресс-анализа. Контроль за санитарно-гигиеническим состоянием производства и персонала будет обеспечивать собственная служба предприятия. Также будет осуществляться периодический контроль со стороны зонального «Центра гигиены и эпидемиологии».

## **ОБРАБОТКА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИМПУЛЬСАМИ ТОКА – ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОЧИЩЕНИЮ И УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА**

### **FOOD PROCESSING WITH CURRENT PULSES IS AN INNOVATIVE APPROACH TO PURIFICATION AND QUALITY IMPROVEMENT**

***Т. В. Чубенко, А. С. Шадоба, А. Р. Борисова, Е. О. Рыццова***

***T. V. Chubenko, A. S. Shadoba, A. R. Borisova, E. O. Rystsova***

*Российский университет дружбы народов  
г. Москва, Российская Федерация*

*Russian University of Peoples Friendship, Moscow, Russian Federation*

*@1032201888@pfur.ru @1032216059@pfur.ru, borisova-ar@rudn.ru, rystsova-eo@pfur.ru*

В работе описаны основные методы очистки различных пищевых продуктов электрическим током. Изучены эффекты, наблюдаемые при применении подобных стимуляций, такие, как влияние активности электронов на грамположительные и грамотрицательные бактерии, устранение патогенности в целом, увеличение срока годности продукта. Рассмотрено влияние электростимуляции на продукты убоя. Были исследованы показатели по пищевым отравлениям в России, а также был сделан обзор на справочник разработанный ВОЗ.

The paper describes the main methods of cleaning of various food products with electric current. The effects observed with the use of such stimulations, such as the impact of electron activity on gram-positive and gram-negative bacteria, the elimination of pathogenicity in general, and an increase in the shelf life of the product, are studied. The effect of electrical stimulation on slaughter products is considered. The indicators of food poisoning in Russia are studied, and a review of a guide developed by WHO is made.

*Ключевые слова:* ионная очистка пищевых продуктов, воздействие импульсного электрического поля, обдув потоком ионизированного воздуха, обработки пищи ионизированной водой.

*Keywords:* ionic cleaning of food products, exposure to a pulsed electric field, blowing with a stream of ionized air, food treatment with ionized water.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-64-68>

В современных реалиях человечеству необходимо стремиться к экологически положительным или хотя бы нейтральным эффектам от использования технологий и техники для удовлетворения своих потребностей в питании, безопасности, устойчивости продовольственных запасов, ведь с технологическим прогрессом общества появились глобальные проблемы окружающей среды. Так, одним из способов по достижению баланса между человеческой удовлетворённостью и природным благополучием может стать обработка пищевых продуктов электричеством (электронами, ионами). Нетермическая обработка продуктов, в перспективе способная полноценно заменить менее эффективные термические, а также другие нетермические способы обработки продуктов, более качественным, быстрым и менее вредоносным для человека и самой продукции действием по устранению патогенов, увеличению срока годности, с возможным улучшением эстетических и вкусовых качеств продукции питания. Заряжать, смотря от целей и способов воздействия, можно как потоки воздуха, воду, так и саму продукцию, непосредственно действуя самим током (электронами, ионами). Первые разработки и практические для применения устройства были созданы в прошлом веке, а сама способность электризовать воздух – под конец девятнадцатого. Изначально, по большей части, это были только громоздкие, крупногабаритные и сложные по техническому оснащению и использованию установки (приборы), применяемые лишь на фабриках, в производственной среде крупных фирм, корпораций, предприятий. С усовершенствованием технологий и развитием науки, с новыми научными открытиями, технология и установки электрической обработки стали меняться, становясь более компактными, лёгкими в использовании, доступными для применения в быту.

Статистика – важный аспект в понимании масштабов проблемы и поиске решений для ее редуцирования. Согласно ВОЗ, каждый год в мире 600 млн человек подвержены отравлению в том числе из-за потребления контаминированных пищевых продуктов. Мы проанализировали данные российского статистического ежегодника и обнаружили, что острые кишечные инфекции широко распространены среди отдельных инфекционных болезней. Так, в 2010-2019 заражению острыми кишечными инфекциями были подвержены от 744,9 до 813,0 тыс. человек в год, это определенно говорит об отсутствии должной обработки пищевых продуктов в России. В 2020 году их количество сильно снизилось и составило 402,8 тыс. человек, вероятнее всего, это связано с пандемией COVID-19 и регулярной обработкой рук и предметов быта антисептическими средствами. В статистических данных за 2022 год ожидается прирост количества острых кишечных инфекций в связи с отсутствием столь тщательного контроля за микробиологической чистотой.

Кишечная инфекция идет по алиментарному пути при контаминации продуктов питания и дальнейшем их попадании в пищеварительный тракт. Проблема алиментарного заражения всегда значима, именно поэтому в работе мы рассматриваем способы очищения органической продукции от загрязнений.

Одними из первых способов очищения пищевой продукции ионами были ускорители электронов серии ЭЛВ, разработанные на базе института Ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН в Новосибирске. Эти установки позволяют дезинфицировать зерна с производительностью до 200 Т/час. У электронов, эмитированных катодом, расположенных на верхнем конце ускорительной трубки, на выходе из ускорительной трубки полная энергия. Пройдя сквозь элементы вакуумной системы, они попадают в выпускное устройство, где с помощью электромагнитов разветки равномерно распределяются по фольге и выводятся в атмосферу. Облучаемый материал транспортируется под рамкой выпускного окна. Применяется многофункциональная система управления с помощью оператора и персонального компьютера.

Благодаря этому устройству происходит безвредное для человека и продукции облучение (холодная пастеризация): нет остаточной радиации после облучения, не используются химические консерванты при обработке, стараются использовать в минимальных количествах ресурсы природы и экологически безвредный способ вывода направленных лучей через атмосферу. Все качества указаны на сегодняшний момент с возможным дополнением в будущем при большем исследовании. В России установка применяется для дезинсекции зерна и картофеля. Новые, усовершенствованные ускорители той же серии более компактные, менее энергозатратные, более простые в использовании и импульсно линейные ускорители (ИЛУ) с большей глубиной проникновения лучей, а также с нарастающим природосберегающим ориентированием производства, обработки и других сфер промышленности в обществе положительно влияют на возрастающий объём применения данных установок и их потенциал. Спектр применения ускорителей включает: ускорение микробных патогенов (пастеризация), стерилизацию пищевых ингредиентов (в более высокой дозе), фитосанитарную обработку (устранение вредителей и насекомых с сельхоз продукции, в низких дозах излучения).

Альтернативное применение частиц (электронов) было предложено в двадцатом веке. Был разработан ионизатор, сохраняющий продукцию при обработке. В промышленности – это специальные газогенераторы, вырабатывающие поток сильно ионизированного воздуха. Такие приборы применяются для стерилизации продуктов питания (плоды: фрукты, овощи, ягоды) от микроорганизмов, а также приборы влияют на сроки хранения продуктов. Со временем благодаря частным изобретателям-экспериментаторам были придуманы и предоставлены бытовые ионизаторы ручного или напольного характера, так же применяющийся для обеззараживания продуктов питания (плодов), но с меньшими габаритами (на семью), с тем же принципом работы. Процесс ионизации



происходит с частотой примерно 100 Гц (в специальной камере (наконечнике шланга) образуются микромолнии). Одновременно с включением прибора начинает работать маломощный электродвигатель с небольшой крыльчаткой на валу, которая находится у входного отверстия шланга (выхода из корпуса прибора) и создает в шланге слабый поток воздуха (сильный поток воздуха неэффективен: ионизирующие разряды не затронут всё пространство воздушной среды, не произойдёт достаточного насыщения ионами). От установки отходит гофрированный шланг длиной 1 м. На конце шланга закрепляется наконечник, который вставляется в ёмкость с продуктами (плодами овощей, фруктов, ягод), предварительно обработанными простой водой, и размещается между горловиной и верхним слоем содержимого банки. В течение 10-15 минут фрукты обдуваются потоком ионизированного воздуха, при этом ёмкость несколько раз встряхивается (для полного контакта продуктов с обдувом). После шланг вынимается из ёмкости, которая герметизируется. Хранятся ёмкости в перевернутом положении, в прохладном месте. Во время хранения ёмкости не встряхивают и не пересыпают содержимое, не подвергают различным транспортным вибрациям. Сохранность фруктов обеспечивается до 5-6 месяцев. Возможна ионизация и без воздушного компрессора. При этом ёмкость с продукцией опускается на проводах в разрядник. В этом случае концентрация озона выше за счет газовой диффузии в закрытом объеме. Перед обработкой в ёмкость опускают небольшое количество сухого силикагеля для поглощения конденсата.

Эта разработка получила больший отклик в США, причём как в промышленном, так и частном использовании. В России она не популяризована. Сама технология разрабатывается, но из-за не самой большой популярности у потребителя, не так активно, как могла бы, ведь её экологически позитивный потенциал велик (наименьшее использование природных ресурсов в процессе обработки, не использование химических компонентов, длительность применения и низкая затрата финансов). Остаются открытыми лишь вопросы озонирования воздуха и удобства хранения обработанной продукции.

Следующим способом электрической обработки является воздействие импульсного электрического поля (ИЭП). Разработка создана для обработки жидкой продукции: молочной и яичной (в жидком состоянии), соков, алкоголя и др. У такой технологии широкий спектр применения: обезвреживание пищевых продуктов, стерилизация, экстракция, уменьшение «следа» от пестицидов, инактивация ферментов (для долготы хранения продукта). Технология обработки может сохранить и увеличить содержание биологически активных соединений, по большей части полифенолов, увеличивая питательную ценность, улучшая эстетический вид пищевых продуктов. Применение коротких электрических импульсов на жидкую или полужидкую продукцию для инактивации вредоносных факторов оказывает наименьшее отрицательное влияние на качество пищевых продуктов, не влияя на органолептические и физические свойства пищи или значительно его (отрицательное влияние на продукты) уменьшая по сравнению с другими методами обработки. Уничтожение патогенных структур идёт за счёт лучшего сохранения питательной ценности, текстуры, вкуса, цвета необработанных пищевых продуктов. Продукция помещается между двумя электродами. Посредством компьютерных программ задаются условия электродного действия (время, сила, распределение и т.д.). Колебания ионов и вращение биполярных молекул, связанные с частотой и амплитудой электрического поля, приводят к изменению диффузии ионов внутри клетки, влияя на всю клеточную активность. Продукты подвергаются циклической обработке ИЭП. Каждый цикл состоит из 50 импульсов (1 импульс каждые 30 с). После одного цикла продукция охлаждается в течение 15 минут, чтобы избежать потери витамина С и полифенольных соединений. Используется электрическое поле с короткими импульсами и шкалой времени от микросекунд до миллисекунд. Продукты питания обрабатываются таким методом при комнатной или при низких температурах (в охлажденном виде). С целью минимизации тепловых процессов с помощью импульсных электрических полей пища обрабатывается в короткие сроки и с низкими энергозатратами. Генерация тепла осуществляется с помощью магнитных полей. Обычно внутри системы имеется устройство для охлаждения реакционной камеры. На сегодняшний день разработаны различные типы стационарных и сплошных ограждений. Хотя методы электрической пастеризации инактивируют микроорганизмы, грамположительные бактерии и зародышевые клетки более устойчивы к ИЭП, чем грамотрицательные бактерии, а дрожжи более восприимчивы к бактериям, в свою очередь клетки роста больше подвержены его воздействию, чем споры. Сама же функциональность ИЭП увеличивается в объединении с другими методами. Этот метод нетермической обработки носит больше промышленный, лабораторный характеры, но с большим развитием исследований в данном направлении повышается и шанс предоставления применения его в бытовых условиях большим количеством людей. Импульсное электрическое поле - вариант для различных пищевых продуктов, в частности жидких пищевых продуктов, по улучшению защиты и поддержанию новых, непротиворечивых свойств пищевых продуктах. Это консервация пищевых продуктов с инактивацией микробов и улучшением качества продукции. В условиях такой обработки используется способ с наименьшим контактом (нет механического воздействия или водной обработки продукта). Этот метод нетермической электронной обработки разрушает чужеродные мембраны, сохраняя при этом мембраны продуктов питания и так же насыщая их, «заряжая». На предприятиях, применяющих импульсное электрическое поле и холодную пастеризацию, фиксировалось изменение цвета продукции с тусклой на более яркую и привлекательную. В условиях данных обработок не уменьшалось общее количество витамина С и полифенолов.

Последний по рассмотрению, но не по важности метод обработки пищевой продукции – это метод обработки пищи ионизированной водой. Этот способ очистки нашёл широкое применение и отклик в хозяйственно-бытовой сфере, хотя на производствах также установлены схожие по строению и действию крупногабаритные механизмы



отчистки пищевых продуктов с помощью «заряженной» воды (как в некоторых штатах США). Есть разновидности таких очистительных приборов (с добавлением низко щелочного, низко соляного растворов в воду для улучшения ионизации), но суть их действия не меняется: благодаря электризации воды, её поверхностное натяжение становится минимальным, а проницаемость – максимальной, такая вода легко проникает между вредоносными системами и мембраной продуктов (зёрна, плоды, твёрдая пища), устраняя с поверхности этих продуктов чужеродные структуры (остатки почвы, сельхоз химикаты, микроорганизмы и вредоносные вещества самой воды - силикаты). Ионизаторы не оказывают отрицательного воздействия на продукты (не действуют глубже мембран самих продуктов). Приборы с добавлением щелочных и соляных растворов, так же безвредны, так как содержание этих растворов минимально и действие электрического тока нейтрализует их отрицательный эффект, не позволяя адсорбироваться их частицам на поверхности продукта питания. В России из-за непопулярности применения тока в очистке замена химических очистительных средств на ручные или настольные электронные для ионизации минимальна. Но такой нетермический способ очистки продуктов питания также, обрабатывает продукты без потери их качества, минимально влияя на окружающую среду (использование водного ресурса без загрязнения, так как происходит нейтрализация соляных и щелочных растворов, если добавляются), а с развитием этой технологии очистки, материалы, применяемые для конструирования прибора, стали дешевле без потери качества и срока службы).

Электризованная окисляющая вода с низкой концентрацией свободного хлора является одной из потенциальных альтернатив использованию гипохлорита натрия с экологически чистым обеззараживанием микроорганизмов широкого спектра действия в пищевой промышленности, необходимость в обращении и хранении потенциально опасных химических веществ устраниться. Качество продукции питания после обработки таким методом улучшается за счёт полного очищения поверхностей продуктов, без остаточного действия самого очищающего прибора (никаких вредоносных, окисляющих веществ не остаётся после обработки электризованной водой) и активацией мембран самих продуктов. Действие электрического тока «пробуждает» сырую продукцию питания, заставляет принимать световую энергию и потенциал кислорода не в сторону окисления и скоротечной порчи продукции, а в сторону питания и насыщения, увеличивая сочность продуктов питания. Увеличенная проницаемость мембран продуктов в этом случае безопасна, ведь все патогенные организмы и вредоносные вещества устраняются благодаря обработке электризованной окисляющей водой с низкой концентрацией свободного хлора.

Ток может быть полезен не только для очистки органических продуктов от нежелательных загрязнений. Электростимуляция может влиять на качество мяса. Так, ток способен ускорять процесс посмертного гликолиза в тканях, это приводит к снижению pH. Как следствие, ускорение физиологических и биохимических процессов в посмертном изменении тканей животного. Наблюдается ускоренное наступление трупного окоченения и ускоренное его пропадание, что сокращает время обработки и значительно повышает качество готового продукта. Мышечные волокна удлиняются, предотвращая сокращение, однако, электростимуляция может иметь неоднозначное влияние на цвет мяса у некоторых видов животных. ЭС предотвращает трупное окоченение при слишком быстром замораживании еще теплой туши. Одним из главных достоинств электростимуляции является предотвращение холодового сокращения, которое может возникнуть во время посмертного охлаждения из-за быстрого снижения температуры.

В Малайзии провели исследование: говяжьи туши разделили на две полутуши и поместили в одинаковые условия [5]. Правую часть подвергали электростимуляции (далее ЭС), в то время как левую не стимулировали. Через туши пропускали ток спустя 5 мин после обескровливания, 20 и 30 мин после потрошения. Напряжение тока составляло 550 В или 150 В в течение 1 или 2 мин при 16 импульсах в минуту. Разницы вкуса в зависимости от длительности электростимуляции (1 или 2 мин.) не наблюдалось. Туши сравнили с нестимулированными образцами. Результат показал, что все виды ЭС-обработки дают более нежную и яркую говядину, чем нестимулированные.

Пищевые отравления, причиной которых бывает отсутствие надлежащей обработки, являются крайне неприятным явлением. Подчеркивая важность исследования, были рассмотрены данные ВОЗ по пищевым отравлениям. Всемирная организация здравоохранения разработала справочник, позволяющий оценивать значение пищевых отравлений для человечества в целом и отдельных стран в частности. Концепция была разработана еще в 1990 году, для пищевых болезней предложена в 2007 и далее впервые была реализована в 2015 и в 2022 году вышел обновленный справочник. Справочник позволяет рассчитать риски, проследить динамику, сделать выводы, а также грамотно распределить ресурсы на систему профилактики.

Изучение вопроса усложняется несколькими моментами: при пищевых отравлениях люди не всегда обращаются за медицинской помощью; патоген, попадающий с едой не всегда воздействует именно на ЖКТ, страдать может печень, почки и другие органы и ткани; отсутствие надлежащих систем контроля и надзора также отрицательно влияет на сбор данных по вопросу. Для оценки бремени ученые пришли к аналитическим расчетам по следующим формулам, учитывающим тяжесть заболевания, длительное нарушение здоровья, демографические данные, показатели преждевременной смертности и другие аспекты. Введение в обиход рассмотренной нами технологии поможет сократить риски распространения инфекционных пищевых отравлений и соответственно снизить количество заболеваний. В нашей работе были представлены передовые и перспективные нетермические способы обработки пищевой продукции электричеством (ионами, электронами). Они разнообразны по

применению, действию, месту использования, но в своей основе все перечисленные способы обработки имеют схожие критерии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *W. D. BELLAMY* Progress in Food and Drug Sterilization by Ionizing Radiations // General Electric Research Laboratory, Schenectady, New York
2. *Khudozhnikov Alexander E., Stange Peter, Stepanov Alexander G., Kolokolov Daniil I., Ludwig Ralf* Structure, Hydrogen Bond Dynamics and Phase Transition in a Model Ionic Liquid Electrolyte // PCCP: Physical Chemistry Chemical Physics. - 2022,
3. *Galiya ABDILOVA, Anna TEREKHOVA, Maxim SHADRIN, Nina BURAKOVSKAYA, Natalya FEDOSEEVA, Marina ARTAMONOVA, Alena ERMIENKO, Maria SMIRNOVA Igor GRIGORYANTS Ekaterina STRIGULINA* Study on the influence of different magnetic and electric field-assisted storage methods on non-thermal effects of food // Food Science and Technology. – 2021
4. *I. Golubenko, M.–Wejs, N.K. Kuksanow, S.A. Kuznecow, B.M. Korabelxnikow, A.B. Malinin, P.I. Nemytow, W.W. Prudnikow, R.A. Salimow, W.G. ĆEREPKOW, S.N. Fadeew* Uskoriteli "lektronow serii –LW: sostoqnie, primenenie, razwitiie
5. *Kazeem Dauda Adeyem and Awis Qurni Sazili* Efficacy of Carcass Electrical Stimulation in Meat Quality Enhancement: A Review // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. - 2014

### АНАЛИЗ НАРУШЕННОСТИ ТОРФЯНИКОВ ЧЕРВЕНСКОГО РАЙОНА И ПУТИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

### ANALYSIS OF THE DISTURBANCE OF THE PEATLANDS OF THE CHERVENSKY DISTRICT AND WAYS OF THEIR RESTORATION

**О. Н. Ратникова, И. П. Лисицына, А. Т. Борш**

**O. N. Ratnikova, I. P. Lisitsyna, A. T. Borsh**

*Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь  
306peatlands@mail.ru*

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Проанализировано современное состояние территории торфяников Червенского района при помощи спутниковых снимков, выявлены площади торфяников сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения, а также нарушенные участки, подлежащие экологической реабилитации. Оценена эффективность проведенных мероприятий экологической реабилитации, исходя из семилетних исследований параметров уровней грунтовых вод при помощи автоматических датчиков.

The current state of the territory of the peatlands of the Chervensky district using satellite images was analyzed, the areas of peatlands for agricultural and forestry use, as well as disturbed areas subject to environmental rehabilitation, were identified. The effectiveness of the environmental rehabilitation measures taken based on seven-year studies of the parameters of groundwater levels using automatic sensors was assessed.

**Ключевые слова:** нарушенный торфяник, экологическая реабилитация, уровень грунтовых вод, торфяная залежь верхового типа, болотный фитоценоз.

**Keywords:** disturbed peatland, environmental rehabilitation, groundwater level, high-moor peat bog, bog phytocoenosis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-68-72>

В течение последних десятилетий большое внимание уделяется природоохранной роли болот и влиянию антропогенных факторов на динамику их развития. Торфяные болота выполняют ряд важных биосферных функций: незаменимых и заменимых. К незаменимым функциям относятся аккумулятивная, биологическая, междугорная и ландшафтная, к заменимым – газорегуляторная, геохимическая, гидрологическая и климатическая [1].

Ранее установлено, что в Беларуси к 2030 году следует реабилитировать не менее 15 % площади нарушенных торфяников [2]. Для обеспечения биосферно-совместимого использования торфяников необходимо около 15–20 % от общей площади торфяного фонда района отнести в природоохранный фонд различного назначения.

Основные изменения на болоте связаны с нарушением его гидрологического режима. Гидротехническая мелиорация влияет на водный режим как осушаемого торфяника, так и на прилегающие к нему участки. Понижение уровня грунтовых вод (далее – УГВ) на 0,2 м и более от средней поверхности микроландшафта приводит к замещению нижних ярусов на высшие и, как следствие, к возникновению пожароопасной обстановки.

Цель исследования – оценить современное состояние и нарушенность торфяников Червенского района и проанализировать эффективность повторного заболачивания на участке природоохранного использования.

Для анализа современного состояния и нарушенности территории торфяников Червенского района провели дешифрирование спутниковых снимков с разрешением 30 и менее м/пикс (снимки Google, Yandex Satellite, Bing) визуальным методом, при помощи которого выявили три категории в зависимости от фактического состояния и возможности использования: болото в естественном состоянии – природоохранное направления использования, покрытые древесно-кустарниковой и лесной растительностью – лесохозяйственное, осушенных земель с торфяными почвами – сельскохозяйственное и четвертая категория – нарушенные торфяники.

В результате исследований рассмотрено 68 разведанных торфяников [3] площадью ~24,7 тыс. га в нулевой границе или 15,1 % территории Червенского района Минской области. Анализ территории торфяников этого района показал (рис. 1), что в естественном состоянии сохранилось лишь 3,2 тыс. га болот, торфяная залежь которых аккумулирует 34 658 тыс. м<sup>3</sup> воды и 2 348 тыс. т углерода. На остальной территории процессы торфонакопления и болотообразования прекращены или идут крайне медленно, восстановлено 1,6 тыс. га, большая часть которых – выбывшие из промышленной эксплуатации торфяные месторождения.

Около 80 % территории торфяников осушено и используется: в сельском хозяйстве – 8,5 тыс. га или 34,5 % от их территории, в лесном хозяйстве – 5,2 тыс. га или 21,2 %, остальные площади находятся в нарушенном состоянии – 6,0 тыс. га или 24,4 % – это территории с сохранившейся после добычи торфа осушительной сетью с каналами 500×40 м, покрытые древесно-кустарниковой растительностью, неэффективно используемые в сельском и лесном хозяйствах, участки разрабатываемого фонда, участки, выбывшие из эксплуатации и находящиеся в брошенном состоянии, где процессы самовосстановления отсутствуют, а также населенные пункты, фермы, товарищества и др.

Основными проблемами нарушенных торфяников, неэффективно используемых в сельском и лесном хозяйствах, являются: подтопление территории из-за низкого положения в рельефе или подстиление остаточного слоя торфа водоупорными грунтами (сапрпель, суглинок, глина); неблагоприятный водно-воздушный режим для произрастания сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур и условий для работы техники; увеличение расходных составляющих водного баланса осушенного торфяника за счет интенсивного стока грунтовых вод по действующей осушительной сети, особенно в весеннее половодье, что приводит к перераспределению их запасов на прилегающих территориях и понижению УГВ. На торфяниках в осушенном и заброшенном состоянии происходит процесс зарастания их сорной растительностью и лесом низкого бонитета, изменение зоны и режима аэрации торфогенного слоя в торфяной залежи, а также полное прекращение накопления торфа, при этом торфяная залежь уплотняется. Такие участки неоднократно подвергаются пожарам, негативно влияющим на экологическую обстановку района.



Рисунок 1 – Карта-схема современного состояния торфяников Червенского района Минской области

Ренатурировать торфяник невозможно вследствие значительного антропогенного воздействия, однако можно восстановить водно-минеральное питание на микроландшафтном уровне пространственной организации с возобновлением отдельных очагов болотообразования и торфонакопления за счет проведения мероприятий экологической реабилитации.

Торфяник Рудянец (кадастровый номер № 573) (рис. 1) представляет собой сложную болотную систему верхового, переходного и низинного типа торфяной залежи, сформировавшуюся в результате слияния, на поздних



стадиях развития первоначально изолированных, различающихся по природно-генетическим условиям, с отдельными генетическими центрами, и долгое время развивавшихся независимо друг от друга очагов болотообразования и торфонакопления. На современном этапе развития в естественном состоянии сохранилось лишь 347 га или 11,2 % площади торфяника верхового болота с лесными, травяно-лесными и древесно-моховыми видами болотных фитоценозов. В нарушенном состоянии находится 611 га или 19,6 %, к повторно заболоченным участкам, вышедшим из промышленной эксплуатации, относится 487 га или 15,7 %, остальные площади – осушенные земли с торфяными почвами сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования 1 659 га или 53,5 %.

Исследуемый участок Червень представляет собой отдельный болотный массив верхового типа более сложного строения, развивающийся из одного генетического центра (центра торфонакопления), с единым гидрологическим режимом на начальной стадии своего развития. В настоящее время он разделен на два участка и представляют собой территории, однородные по характеру растительного покрова, микрорельефу поверхности, общетехническим свойствам верхних слоев торфяной залежи, однако их водно-минеральное питание различно. Участок Червень-1 находится в стадии восстановления, благодаря реализованным мероприятиям экологической реабилитации, второй участок Червень-2 – в естественном состоянии с сохранившейся фазой развития первичного очага заболачивания с устойчивыми общими чертами процессов болотообразования и формирования болотных фитоценозов верхового типа.

В рамках проекта научно-технической помощи в 2015 г. в Червенском районе реализованы мероприятия по реабилитации гидрологического режима участка Червень-1 (рис. 2), что позволило снизить эмиссию парниковых газов, увеличить поглощение диоксида углерода из атмосферы и затем депонировать его в виде органического вещества торфа, сократить риск возникновения торфяных пожаров, создать благоприятные условия произрастания болотной растительности (увеличить площади произрастания дикорастущих ягод (клюквы, голубики и др.)) и среду обитания диких животных, стимулировать естественное восстановление нарушенной экосистемы торфяника.



Условные обозначения: - - - - нулевая граница торфяного месторождения;  
 — — — — восстанавливаемый участок Червень-1; 1/8744 – пункты наблюдения; — — — — мелиоративные каналы

Рисунок 2 – Пункты наблюдения на участке Червень-1 торфяного месторождения Рудянец

Мероприятия экологической реабилитации включили в себя строительство каскада перемычек, которые перекрывают отток воды по каналам, особенно в весеннее половодье. Весной при таянии снега вода потоком по картовым каналам с направлением течения с юга на север сбрасывалась в магистральный канал и далее в р. Дыевка. Переливная каменно-набросная перемычка со шпунтовой стенкой [4], расположенная в северо-западной части болота, перекрывает отток воды и уменьшает скорость течения в р. Дыевка в этой части болота, позволяет пропускать большие объемы воды в период паводка и предотвращает избыточные расходы в меженный период. Для прекращения действия осушительных каналов, расположенных на расстоянии 500 м друг от друга по всей территории исследуемого участка и магистрального канала в центральной его части, использовали каскад глухих земляных обтекаемых перемычек. Описанные выше мероприятия направлены, прежде всего, на равномерное поднятие УГВ по всей восстановленной территории.

Анализ основных параметров УГВ до и после (табл.) мероприятий экологической реабилитации на участке Червень-1 показал, что среднегодовые значения УГВ повысились на 20 см, амплитуда колебаний уменьшилась на 22 см, также проведенные мероприятия способствовали уменьшению критических низких и высоких значений УГВ в течение всего гидрологического года (рис. 3), уменьшилось расхождение средних значений – 12 см и в амплитуде колебаний – 29 см с естественным участком. Данные гидрологические условия способствуют замещению вышних ярусов на низшие: в течение семи лет наблюдений открытые участки торфа заросли мхом, площадь покрытия мохового яруса составляет около 90 %, вдоль мелиоративных каналов деревья отмирают, а на мониторинговой площадке, находящейся на расстоянии около 250 м от канала, находятся в угнетенном состоянии.

Параметры УГВ на пунктах наблюдения участков Червень-1 и Червень-2, см

| Параметры УГВ         | участок Червень-1,<br>до экологической<br>реабилитации | участок Червень-1,<br>после экологической<br>реабилитации | участок Червень-2,<br>в естественном<br>состоянии |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| среднегодовое         | -23                                                    | -3                                                        | -15                                               |
| амплитуда колебаний   | 74                                                     | 52                                                        | 23                                                |
| среднегодовое низкое  | -69                                                    | -41                                                       | -29                                               |
| среднегодовое высокое | 5                                                      | 11                                                        | -6                                                |

В результате исследований установлено, что средние значения УГВ в летний период на восстановленном участке Червень-1 и естественном участке Червень-2 значительно отличаются от зимнего, весеннего и осеннего периодов, разница в средних значениях 2 см. На участке в естественном состоянии уровни воды летом поднимаются с интенсивностью до 3–8 см/сут, понижаются – 0,5–1 см/сут, в восстановленном состоянии интенсивность поднятия значительно больше и достигает до 4–11 см/сут, понижения – 0,5–2 см/сут – это связано со скоростью стекания воды и водоотдачей деятельного слоя торфа.



Рисунок 3 – Динамика УГВ на исследуемых участках Червень-1 и Червень-2 до и после экологической реабилитации

На участке Червень-1 сформировавшиеся болотные фитоценозы не соответствуют ботаническому составу торфяной залежи, которая представлена верховым магелланикум торфом со степенью разложения 5 %, влажностью 91 % и зольностью 6,1 %. Величина окислительно-восстановительного потенциала в корнеобитаемом слое колеблется от +152 до +160 мВ, торф подстилается песком, водно-воздушный режим характеризуется достаточной аэрацией с преобладанием окислительных процессов. Кроме атмосферных осадков, в их питание вносят вклад поверхностно-сточные воды. Кислотность верхних слоев торфа на участке уменьшилась с 4,24 (до экологической реабилитации) до 3,5–3,7 (после), данные условия соответствуют болоту в естественном состоянии. В результате возобновления болотообразовательного процесса интенсивно формируется верховой тип растительности. На участке исследования происходит замещение сосново-кустарничковых фитоценозов на сосново-сфагновые.

Вдоль каналов сформировался березняк, из которого большая часть сухостой и валежник. В составе древостоя до 40 % занимает береза пушистая *Betula pubescens*, возраст насаждения – 25 лет, сомкнутость – 0,6. В напочвенном покрове доминирует багульник *Ledum palustre* L., присутствуют вереск *Calluna vulgaris*, черника *Vaccinium myrtillus* и брусника *Vaccinium vitis-idaea*. Из трав изредка встречаются мелкоконтурные мочажины, зарастающие кустарничками и пушицей влагилищной *Eriophorum vaginatum*. Моховой покров занимает до 70–95 % площади: преобладают сфагновые мхи, среди которых пятнами произрастают политриховые мхи. В местах с густой сомкнутостью древостоя и на лесной дороге, расположенной на участке Червень-1, нередко пятнами встречаются плевроциум Шребера *Pleurozium schreberi*, дикран *Dicranum polysetum* Sw., политрихум сжатый *Polytrichum strictum*, данные мхи нехарактерны для болота верхового типа. Поднятие уровней способствовало



интенсивному зарастанию дороги кустарничками и пушицей влагалищной *Eriophorum vaginatum*, до восстановления здесь растительность вовсе отсутствовала.

Участок Червень-2 представлен Сосняком кустарничково-сфагновым фитоценозом. Рельеф поверхности бугристый, кочковатый. Гидротехническая мелиорация по периферии участка также сказалась на болотном фитоценозе, кустарничково-зеленомошно-сфагновые сообщества сформировались под воздействием осушения на месте кустарничково-пушицево-сфагновых. В древесном ярусе доминирует сосна (представлены как обычная форма, так и болотная, главным образом *f. uliginosa*), примесь березы пушистой *Bétula pubéscens* – 10–30 %, высота деревьев – 3–10 м, сомкнутость крон – 0,5–0,8. Средний возраст древостоя – 55 лет, можно выделить до 2–3 поколений деревьев сосны. В подросте – сосна, береза пушистая, единично – ель.

Покров травяно-кустарничкового яруса от 45 до 90 %. В кустарничковом ярусе доминирует багульник болотный *Ledum palustre* L. (покрытие 20–70%), содоминант – голубика топяная *Vaccinium uliginosum* L., в меньшей мере встречается мирт болотный *Chamaedaphne calyculata* L., изредка брусника *Vaccinium vitis-idaea*, черника *Vaccinium myrtillus*. Покров клюквы *Oxycoccus palustris* очень незначительный (до 1 %), не более 10 % приходится на подбел многолистный.

В покрове травянистых преобладает пушица влагалищная *Eriophorum vaginatum* (покрытие 10–30 %), на участках с мелкими мочажинами встречается очеретник белый *Rhynchospora álba*, единично – осока топяная *Carex limosa*, рослянка круглолистная *Drosera rotundifolia*. Моховой покров развит повсеместно, покрытие всегда более 90 %, сформирован преимущественно сфагновыми мхами.

В целом по Червенскому району созданы благоприятные условия для биологического разнообразия. Площадь торфяников в естественном и восстановленном состоянии составляет 3,2 тыс. га (21 %), торфяная залежь которых аккумулирует 34658 тыс. м<sup>3</sup> воды и 2348 тыс. т углерода, где идут процессы болотообразования и торфо-накопления. Также восстановление нарушенных участков торфяников лесной мелиорации увеличивает площадь уникальных территорий для сбора дикорастущих ягод местным населением.

Мероприятия экологической реабилитации способствовали повышению средних значений УГВ и уменьшению амплитуды их колебаний на восстановленном участке. Регулирование водного режима на площадке наблюдения Червень-1 привело к увеличению влажности корнеобитаемого слоя, уменьшению значений кислотности и, как следствие, усилению процессов восстановления болотных фитоценозов верхового типа, возобновлению процессов накопления торфа, а также уменьшению вероятности возникновения торфяных лесных пожаров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бамбалов Н.Н. Роль болот в биосфере / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович. – Минск, 2005. – 208 с.
2. Закон Республики Беларусь «Об охране и использовании торфяников»: НПА РБ от 18 декабря 2019 г. № 272-З. URL: [https://pravo.by/upload/docs/op/H11900272\\_1577394000.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/H11900272_1577394000.pdf). (дата обращения: 14.02.2023).
3. Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников, Схема распределения торфяников по направлениям использования до 2023 года / утв. постановлением Совмин РБ 30.12.2015 г. № 1111.
4. Козулин А.В. Методические рекомендации по экологической реабилитации нарушенных болот и по предотвращению нарушений гидрологического режима болотных экосистем при осушительных работах / А.В. Козулин, Н.И. Тановицкая, И.Н. Вершицкая. – Минск, 2010. – 40 с.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВАЗИВНЫХ РАСТЕНИЙ В ИМПОРТЗАМЕЩЕНИИ ФИТОПРЕПАРАТОВ НА ПРИМЕРЕ SOLIDAGO SP ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING INVASIVE PLANTS IN THE IMPORT SUBSTITUTION OF HERBAL MEDICINES ON THE EXAMPLE OF SOLIDAGO SP

**Н. В. Емельяненко<sup>1,2</sup>, И. А. Ровенская<sup>1,2</sup>**

**N. V. Emelianenko<sup>1,2</sup>, I. A. Rovenskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
[kem@iseu.by](mailto:kem@iseu.by), [attractive675@mail.ru](mailto:attractive675@mail.ru)

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

На современном этапе развития мировой и отечественной медицины использование лекарственных препаратов, изготовленных на основе растительного сырья, приобретает все большую актуальность.

Увеличение спроса на лекарственные препараты растительного происхождения обуславливает расширение сырьевой базы за счет культивируемых видов в связи с тем, что по ряду причин сбор сырья некоторых дикорастущих видов является экономически не выгодным. Лекарственные растения, являющиеся заносными для флоры Беларуси, как золотарник канадский, имеют ограниченный или большой, но дизъюнктивный ареал [1].

At the present stage of development of world and domestic medicine, the use of drugs made on the basis of plant materials is becoming increasingly important. The increase in demand for herbal medicines causes the expansion of the raw material base due to cultivated species due to the fact that, for a number of reasons, the collection of raw materials of some wild species is not economically viable. Medicinal plants that are alien to the flora of Belarus, like Canadian solidago, have a limited or large, but disjunctive range.

Ключевые слова; золотарник, препараты, фармакологическая активность.

*Keywords:* solidago, preparations, pharmacological activity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-72-76>

В последнее время популяция золотарника значительно увеличила свою численность (в среднем на 15–20 %). Государственный кадастр растительного мира включает два инвазивных вида данного растения – Золотарник канадский и Золотарник гигантский. По результатам научных исследований, выполненных в 2020–2021 годах всего на территории Минской области на 01.01.2021 г. выявлено 1384 места произрастания Золотарника канадского на площади 800,88 га, являющимся инвазивным видом. С Однако применяемое на его основе сырье может использоваться в фармакологии [2].

Экстракты *S. virgaurea* содержат гликозиды С6-С1 (виргауреозид, лейкокарпозид) и агликоны (ванилиновая кислота, галловая кислота), полифенольные кислоты С6-С3 (цеиновая, хлорогеновая, феруловая, синаповая, 3 -гидроксифенилуксусная кислота, 3,4-дигидроксифенилуксусная, гомованилиновая, кислоты), ряд молекул флавоноидов (преимущественно гликозиды кверцетина и кемпферола, а также свободные агликоны и небольшое количество производные цианидина), тритерпеновые сапонины олеананового типа, эфирные масла, содержащие монотерпены (альфа- и бета-пинен, мирцен, лимонен, сабинен) и сесквитерпены (гермакренD-кариофиллен, -гумулен,), дитерпены клероданового типа, полисахариды и полиацетилены. В монографии Европейской фармакопеи для травы *Solidaginis virgaureae* флавоноиды рассматриваются как маркеры качества, и для продукта требуется содержание не менее 0,5% и не более 1,5% в пересчете на гиперозид. Было высказано предположение, что ряд активных соединений экстрактов *S. virgaurea* (лейкокарпозид, полифенольные кислоты, флавоноиды, сапонины) проявляют синергетическую активность в проявлении заявленных противовоспалительных эффектов продукта. Антиоксидантная активность приписывается полифенольным соединениям, в то время как считается, что флавоноиды ответственны за спазмолитические эффекты [3].

Сырье золотарника входит в состав 21 наименования мирового фармацевтического рынка (таблица 1) [3]:

Таблица 1

*Фармацевтическая продукция, в состав которой входит золотарник*

| Название                                                                                                                                 | Форма выпуска                      | Производитель | Применение                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. Препараты, содержащие сырье золотарника или его водно-спиртовые экстракты:<br>I. Аллопатические препараты<br><b>А) Монопрепараты:</b> |                                    |               |                                                             |
| Цистиум солидаго                                                                                                                         | Раствор                            | Германия      | Заболевания мочевыводящих путей, мочекаменной болезни       |
| Солидагорен моно                                                                                                                         | Таблетки                           | Германия      | Нефрит, мочекаменная болезнь                                |
| <b>Б) Комбинированные препараты:</b>                                                                                                     |                                    |               |                                                             |
| Марелин                                                                                                                                  | Таблетки                           | Украина       | Отхождение почечных конкрементов, боли при почечной колике. |
| Простанорм                                                                                                                               | Таблетки, водно-спиртовая жидкость | Россия        | Простатит                                                   |
| Фитодолор                                                                                                                                | Раствор                            | Германия      | Хронический полиартрит                                      |
| Полиартритный сбор                                                                                                                       | Отвар                              | Россия        | Ревматоидный полиартрит                                     |

| Название                                       | Форма выпуска             | Производитель | Применение                                                                                                |
|------------------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>II. Гомеопатические препараты</b>           |                           |               |                                                                                                           |
| Псоризер                                       | Сублингвальные гранулы    | Россия        | Псориаз, дерматоз, псориазоформный, нейродермит, сухие кожные высыпания, шелушения, кожный зуд            |
| Хомвиокорин-Н                                  | Капли (для приема внутрь) | Германия      | Хроническая сердечная недостаточность                                                                     |
| Сабурген-Н                                     | Капли (для приема внутрь) | Германия      | Простатит, невроз простаты, начальные стадии аденомы простаты                                             |
| Солидаго композитум С                          | Раствор (для инъекций)    | Германия      | Острые и хронические заболеваниях почек                                                                   |
| <b>2. Биологически активные добавки (БАДы)</b> |                           |               |                                                                                                           |
| Биофорс Солидаго комплекс                      | Водноспиртовые настойки   | Германия      | Мочекаменная болезнь                                                                                      |
| Уронат медивит                                 | Желатиновые капсулы       | Польша        | Острые и хронические инфекции мочевыводящих путей (уретрит, цистит, пиелонефрит), подагра.                |
| Урофлюкс                                       | Чай                       | Германия      | Выведение мочевой кислоты, мочегонное, противовоспалительное, противомикробное действие                   |
| Витерган                                       | Капсулы                   | США           | Терапия хронических воспалительных заболеваний мочевыводящих путей                                        |
| Чай Иван Кузьмич №5                            | Чай                       | Польша        | Мочекаменная болезнь                                                                                      |
| Чай № 25 «Урологический – 2»                   | Чай                       | Россия        | Мочекаменная, почечнокаменная болезни, уремия, мочекислый диатез, альбуминария.                           |
| Простамед                                      | Таблетки                  | Германия      | Расстройства мочеиспускания при доброкачественной гиперплазии (аденоме) предстательной железы I–II стадии |
| Простамакс                                     | Таблетки                  | Германия      | Хронический простатит                                                                                     |
| Антиник                                        | Фиточай                   | Россия        | Облегчение симптомов отмены никотина                                                                      |
| Термоджетикс                                   | Таблетки                  | США           | Поддержание естественного баланса глюкозы в крови и обеспечение контроля чувства сытости                  |
| Мен'с формула Простата форте                   | Таблетки                  | США           | Простатит                                                                                                 |

В Беларусь экспортируются следующие препараты:

1. Золотая розга (производитель Россия), являющиеся травяным сбором с противовоспалительным, антибактериальным и мочегонным эффектам, позволяющие использовать золотарник в терапии воспалительных заболеваний мочевыводящих путей.

2. Простамед (производитель Германия), комплексный препарат для патогенетического лечения доброкачественного лечения предстательной железы.

Золотарник обыкновенный, З. канадский и З. гигантский включены в Европейскую фармакопею, З. канадский и З. гигантский – в Британскую травяную фармакопею. В СССР была разработана ФС «Трава золотарника канадского» [3].

Для видов рода Золотарник установлен целый спектр фармакологической активности.

**Анальгетическая активность.** В исследовании *in vitro* оценивался анальгетический потенциал метанольного экстракта семян путем оценки его сродства к трем рецепторам, участвующим в передаче сигналов острой боли (брадикинин, нейрокинин 1 и пептид, связанный с геном кальцитонина). Экстракт демонстрировал существенное связывание с рецептором брадикинина, но этот эффект отменялся обработкой ПВП (поливинилпирролидон), что позволило предположить, что это, вероятно, следует приписать неспецифическому связыванию танинов или других полифенолов [4].

**Спазмолитическая и антигипертензивная активность.** Данные *ex vivo*, полученные на изолированных гладких мышцах кишечника морской свинки, показали умеренный спазмолитический эффект этанольного

экстракта *S. virgaurea* (менее 15% эффекта папаверина). Экстракты *S. virgaurea* продемонстрировали антиму斯卡риновое действие на изолированный мочевой пузырь, ингибируя рецепторы M2 и M3. Было установлено, что все виды рода обладают «гипотензивной активностью», в том числе *S. virgaurea*, которая продемонстрировала такой эффект у собак, для экстракта листьев в дозе 150 мг/кг. Водные экстракты из цветов и листьев, вводимые внутривенно у крыс в дозах 180 и 360 мг/кг не обнаружили снижения артериального давления после первых 2–5 минут для обоих экстрактов. Предположительно это связано с потенциальным вкладом флавоноидов, основываясь на сообщениях о сосудорасширяющих эффектах, опосредованных ингибированием протеинкиназы C, что приводит к расслаблению гладкой мускулатуры артерий [4].

**Антипаразитарная активность.** В эксперименте на мышах в дозе 500 мг/кг массы тела экстракт надземных частей *S. virgaurea* показал наибольший эффект на *Acanthamoeba*, увеличивая выживаемость животных в среднем до 12 дней, в то время как в контрольной группе среднее время выживания всего 4 дня. Еще три вида, испытанные в том же эксперименте, ассоциировались с более коротким временем выживания. Экстракт, полученный из стеблей, не обладал заметной активностью в отношении паразитической нематоды *Haemonchus contortus* [4].

**Антибактериальная активность.** Эфирное масло золотарника обыкновенного и з. канадского оказывало антибактериальную активность в отношении *Streptococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*. Сухие и жидкие водно-спиртовые экстракты золотарника обыкновенного, з. канадского, з. гигантского эффективны против *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Chlamydia pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*. Водный экстракт корневищ золотарника чилийского подавлял активность *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* [4].

**Противогрибковая активность.** Исследование противогрибкового потенциала экстрактов *S. virgaurea* показали, что деацилированные сапонины, как правило, оказывают более сильное влияние на различные виды *Candida* и *Cryptococcus neoformans*, чем соответствующая смесь сложнэфирных сапонинов, а среди деацилированных сапонинов бидесмозиды обладали большей активностью, чем монодесмозиды. Была выявлена антимикотическая активность водно-спиртового экстракта в отношении нескольких видов дерматофитов *Trichophyton mentagrophytes*, *Microsporum gypseum* и *Microsporum canis* [4].

**Антиадипогенная и антидиабетическая активность.** Из бутанольной фракции водного экстракта *S. virgaurea* был выделен кемпферол-3-О-рутинозид, проявляющий сильное антиадипогенное действие *in vitro* и подавляющий экспрессию PPAR-γ и C/EBPα. Было обнаружено, что из ряда фенольных производных этих видов, антиадипогенный потенциал которых был оценен *in vitro*, 5-ди-О-кофеоилхинная кислота обладает наиболее сильным ингибирующим действием. Этанольный экстракт *S. virgaurea* (10%) также продемонстрировал хорошие антиадипогенные эффекты *in vitro* и *in vivo* на мышинной модели, вызывая снижение массы тела, массы печени и объема жировой ткани [4].

**Диуретический эффект.** На протяжении всего 20 века в различных источниках упоминается мочегонную активность применительно к препаратам *S. virgaurea*. Мочегонные эффекты были приписаны флавоноидной фракции (особенно кверцетину и его производным), которая ингибирует нейтральную эндопептидазу, что приводит к усилению потока мочи. Ингибирование нейтральной эндопептидазы приводит к повышению концентрации в плазме крови натрийуретических пептидов, обладающих выраженными натрийуретическими свойствами. Было обнаружено, что эта флавоноидная фракция (25 мг/кг массы тела) увеличивает диурез у крыс примерно на 88% и вызывает снижение экскреции натрия и калия, сопровождающееся увеличением экскреции кальция. Эти результаты противоречат тем, о которых позже сообщили учёные Орхусского университета, которые не обнаружили увеличения объема мочи или электролитов для флавоноидной фракции. Вместо этого они сообщили, что фракция гидроксикоричной кислоты (100 мг/кг) и фракция сапонинов (25–100 мг/кг) оказывали эффект, сравнимый с эффектом фуросемида, включая увеличение экскреции натрия и калия, в отличие от данных, представленных польскими учёными, в которых утверждалось снижение экскреции этих ионов. Помимо флавоноидной фракции, польские учёные также показали лейкокарпозид (25 мг/кг, внутривнутрибрюшинно), чтобы иметь мочегонную активность, эквивалентную примерно 75% эффекта фуросемида. Также, польскими учёными было продемонстрировано следующее, что инъекционный путь приводит к более высокой эффективности (около 30%), чем пероральный путь, он имеет медленное начало (около 5 часов) и длится до 24 часов. Агликоновая часть гликозида (лейокарпиновая кислота) лишена мочегонной активности (в той же дозе 25 мг/кг внутривнутрибрюшинно) [4].

Следует сказать, для экстракта золотарника характерно омолаживающее действие, воздействуя на фибробласты, тем самым давая возможности его использования в целях замедления старения в препаратах для местного или системного применения [4].

Несмотря на то, что распространение Золотарника приводит к угнетению и даже полному вытеснению из природных экосистем аборигенных растений, он является одним из перспективных источников биологически активных веществ. Стоит также отметить, что на сегодняшний день Золотарник используется в качестве компонента комплексных биологических препаратов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Биологические особенности Золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) при интродукции в условиях Ставропольской возвышенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earthpapers.net/biologicheskie>



osobennosti-zolotarnika-kanadskogo-solidago-canadensis-l-pri-introduksii-v-usloviyah-stavropolskoy-vozvys. – Дата доступа: 22.02.2023.

2. О борщевике Сосновского, золотарнике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://glubokoe.vitebsk-region.gov.by/ru/news\\_inspec-ru/view/o-borshevike-sosnovskogo-zolotarnike-19340/](https://glubokoe.vitebsk-region.gov.by/ru/news_inspec-ru/view/o-borshevike-sosnovskogo-zolotarnike-19340/). – Дата доступа: 22.02.2023.

3. Виды рода золотарник (боноапошачение для медицинской практики, перспективы изучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidy-roda-zolotarnik-bonoaposhachenie-dlya-meditsinskoy-praktiki-perspektivy-izucheniya>. – Дата доступа: 22.02.2023.

4. Fursenco, C. Solidago virgaurea L.: A Review of Its Ethnomedicinal Uses, Phytochemistry, and Pharmacological Activities/ C. Fursenco, T. Calalb//Biomolecules . – 2020. – Vol. 12, № 10. – P. 6.

## **АНАЛИЗ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА**

### **ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION ACTIVITIES OF THE ROAD MANAGEMENT COMPANY**

**О. В. Таргович, В. М. Мисюченко**  
**O. V. Tarhovich., V. M. Misiuchenka**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт  
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
[xolloom@gmail.com](mailto:xolloom@gmail.com)

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

Проанализирована природоохранная деятельность предприятия дорожного хозяйства за период 2016–2020 годов. Были рассмотрены такие параметры как выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, использование земельных ресурсов на предприятии, водопотребление и водоотведение предприятия и обращение с отходами производства. Анализ показал, что существует тенденция снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, произошло сокращение территории предприятия и образование отходов на предприятии увеличивается с каждым годом. Для уменьшения воздействия предприятия на водные ресурсы была предложена установка нефтеловушек на выпуски сточных вод в поверхностные водные объекты г. Минска. Выбор установки нефтеловушки связан с определенным составом сточных вод от центральных городских улиц, возможность установки под землей, простота обслуживания, защита от неприятных запахов, долговечность, простота монтажа, невысокая стоимость. Накопленные на фильтре нефтепримеси легко удаляются вручную.

The environmental protection activities of the road management enterprise for the period 2016-2020 are analyzed. Such parameters as emissions of pollutants into the atmospheric air, the use of land resources at the enterprise, water consumption and sanitation of the enterprise and the treatment of industrial waste are considered. The analysis has shown that there is a tendency to reduce emissions of pollutants into the atmospheric air, there has been a reduction in the territory of the enterprise and the formation of waste at the enterprise increases every year. To reduce the impact of the enterprise on water resources, it was proposed to install oil traps for wastewater discharges into surface water bodies in Minsk. The choice of an oil trap installation is associated with a certain composition of wastewater from central city streets, the possibility of installation underground, ease of maintenance, protection from unpleasant odors, durability, ease of installation, low cost. The oil impurities accumulated on the filter are easily removed manually.

**Ключевые слова:** Технологический процесс, предприятие, загрязняющие вещества, сточные воды, документация, отходы, использование, захоронение, обезвреживание.

**Keywords:** Technological process, enterprise, pollutants, wastewater, documentation, waste, use, disposal, neutralization.  
<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-76-79>

На предприятии дорожного хозяйства основным видом производственной деятельности является содержание, текущий, капитальный ремонт дорог, мостов, путепроводов, сетей ливневой канализации и других объектов благоустройства.



Основная функция предприятия - поддерживать имеющийся на балансе автомобильный транспорт в нормальном техническом состоянии. Для этого ежедневно проверяется техническое состояние каждого транспортного средства перед выходом на линию.

Нами проанализирован технологический процесс предприятия. Наиболее экологически опасным участком на предприятии является малярный цех. В цеху осуществляется подготовка поверхности, которая подлежит окрашиванию, она очищается от старой краски, ржавчин, коррозий, которые мешают качественной покраске. После происходит грунтовка, шпаклевка и шлифование. Краска наносится в несколько слоев путем распыления. Окрашенные работы производятся в окрасочных камерах, выполненных из несгораемых материалов и оборудованные гидрофильтрами. Без таких газоочистных установок для улавливания аэрозолей горючих красок и лаков эксплуатировать систему местных отсосов окрасочных шкафов, камер и кабин не допускается. При проведении окрасочных работ выделяются следующие загрязняющие вещества: стирол, ксилолы, углеводы алициклические, этилцеллозольв, бутилацетат. Также образуются отходы третьего и четвертого классов опасности: бочки из-под растворителя, жестяные банки из-под краски, ёмкости из-под лакокрасочных материалов, фильтры с лакокрасочными материалами.

Разработан план-график производственных наблюдений на предприятии, также предприятие входит в систему локального мониторинга. Программа осуществления производственного аналитического контроля и локального мониторинга в области охраны окружающей среды включает в себя следующие объекты контроля: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух - азота оксид, углерода оксид, твердые частицы.

В соответствии с программой локального мониторинга контролируются:

1. Транспортные средства, периодичность контроля за которыми выявляется в ходе технического обслуживания. Контролируемым параметром (веществом) в этом случае является дымность, СО.

2. Периодичность контроля качества атмосферного воздуха санитарно-защитной зоны и промплощадки предприятия составляет 1 раз в квартал по каждому веществу. Контролируемыми параметрами (веществами) являются ксилол, толуол, твердые частицы, азота диоксид.

3. Проверка эффективности газоочистного оборудования. Периодичность контроля составляет 1 раз в год. Контролируемым параметром (веществом) являются твердые частицы.

4. Сточные воды. Периодичность контроля составляет 1 раз в квартал и контролируемым параметрами (веществами) являются рН, нефтепродукты, взвешенные вещества. На производственной площадке этот параметр не контролируется, сточная вода из ливневой канализации в городе контролируется согласно плану-графику.

Во время анализа использовалась информация, предоставленная за 2016–2020 годы функционирования предприятия. Анализировались такие параметры как: охрана атмосферного воздуха, использование земельных ресурсов, обращение с отходами производства.

Исходя из этих данных можно отметить следующее: за анализируемые пять лет функционирования предприятия количество источников выбросов снизилось с 76 до 55, вследствие чего уменьшилось и общее число выбросов на 47 % (с 4,45 тонн до 2,13 тонн в год). Основными загрязняющими веществами в настоящее время являются: углеводороды непредельные алифатического ряда (4 класс опасности), углеводороды алициклические (4 класс опасности), углеводороды предельные алифатического ряда  $C_1$ - $C_{10}$  (4 класс опасности), углеводороды ароматические (2 класс опасности), ксилолы (3 класс опасности). Самым большим объемом выбросов обладают углеводороды непредельные алифатического ряда – 0,038 тонн в квартал, углеводороды ароматические – 0,029 тонн в квартал.

Динамика выбросов на предприятии характеризуется снижением выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух всех классов опасности. Так, если брать вещества 4 класса опасности, то их снижение произошло на 21,3 %, 3 класса опасности на 15,3%, 2 класса опасности на 22,9%, а выброс веществ без класса опасности увеличился на 31 %. Произошло увеличение количества выбросов таких загрязняющих веществ как этилцеллозольв.

Использование земельных ресурсов на предприятии приводится согласно акту выбора земельного участка или государственному акту на земельный участок, свидетельству (удостоверению) о государственной регистрации земельного участка с указанием их даты и номера. Исходя из представленных данных, можно отметить следующее: за анализируемые пять лет функционирования предприятия его площадь сократилась на 8% (с 53 087 м<sup>2</sup> до 49 338 м<sup>2</sup>). Вследствие этого также была уменьшена площадь сдаваемой в аренду территории на 13% (с 1075,8 м<sup>2</sup> до 938,04 м<sup>2</sup>) и площадь озелененной территории на 36% (с 9109 м<sup>2</sup> до 5864,9 м<sup>2</sup>). Снижение количества озелененных территорий произошло в соответствии с сокращением площади предприятия (часть территории предприятия была передана другим городским организациям). На данный момент площадь предприятия составляет 49338 м<sup>2</sup>.

Водопотребление на предприятии характеризуется тем, что забор воды идет из городского водопровода для хозяйственно-питьевых нужд. Забор воды из подземных и поверхностных источников не используется. Объем воды, возвращенной без использования равен нулю. Вода используется только для хозяйственно-бытовых нужд. Отсутствуют системы оборотного и повторного использования воды.

Обращение с отходами производства на предприятии представлено разрешением на хранение и захоронение отходов производства до 2020 года включало 291,74 тонн отходов. из них 212,56 тонн отходов 3 класса и 79,18 тонн отходов (отходы жизнедеятельности) неопасные. При этом к 2020 году количество отходов третьего класса, поступающих на захоронение, непрерывно увеличивается начиная с 2016 года. Это обусловлено тем, что объем отходов увеличивался, а территориальные возможности для их утилизации уменьшились. Соответственно,

доставка отходов от мест их образования до пунктов переработки требовала больше времени и средств. В то же время количество отходов, отправляемых на захоронение, на предприятии составляет 246,5 тонн в настоящее время и это в основном коммунальные отходы неопасные.

Анализ обращения с отходами показал, что за последние годы на предприятии снизилось главным образом количество отходов 3 класса опасности (умеренно опасные). Общее количество отходов снизилось на 65%. Основная масса образующихся отходов поступает на использование (разнообразные пластмассы, отработанные нефтепродукты, шлам нефтесодержащий). Значительно увеличилось количество образующегося осадка из отстойников.

С целью уменьшения воздействия предприятия на окружающую среду в ближайшие годы планируется установка нефтеловушек на выпуски сточных вод в поверхностные водные объекты г. Минска (р. Свислочь, р. Слепя) из систем дождевой канализации для уменьшения сброса нефтепродуктов. Установка нефтеловушек является обязательной, так как концентрация нефтепродуктов в сточных водах превышает норматив. При этом важно учесть, что нефтеловушка не обеспечивает качество очистки воды, соответствующее условиям сброса в городскую канализационную сеть по концентрациям масел, нефтепродуктов (эфирорастворимые вещества) и взвешенных веществ. Это обусловлено тем, что нефтеловушка представляет собой отстойник простой конструкции, не приспособленный к очистке сточных вод сложного состава, что не позволяет осуществить их очистку до требований сброса в городскую канализационную сеть. Кроме того, это связано со сложностью состава сточных вод, поступающих на нефтеловушку.

Сложность состава стоков, прерывистость их притока на очистные сооружения определяют необходимость изучения очистки маслосодержащих сточных вод методом отстаивания в нефтеловушках улучшенной конструкции и доочистки способом фильтрования. Эти методы позволяют убрать из воды взвешенные вещества, масла и нефтепродукты, находящиеся в грубодисперсном состоянии, а вдобавок часть этих веществ, находящихся в эмульгированном состоянии.

Технология очистки следующая: сточные воды по трубопроводу поступают в нефтеуловитель, после чего принцип дальнейшей работы базируется на разности плотностей воды и нефтепродуктов. Вещества, у которых плотность больше – держатся на поверхности, а те, у которых плотность меньше – опускаются ниже. Таким образом, они разделяются, после чего верхний слой в виде пленки легко абсорбируется и удаляется. Уловленные масла и нефтепродукты направляются на дальнейшее использование по существующей на производстве схеме. Также очищенную воду могут подавать для вторичного применения в систему оборотного водоснабжения.

Очистку сточных вод планируется реализовывать в две стадии: отстаивание в нефтеловушке с улучшенным маслоуловителем эжекционного типа, а далее фильтрование на напорных фильтрах. Диаметр фильтра может быть в пределах от 1400 до 3400 мм. Для эффективного очищения и доочистки сточных вод предусмотрена реконструкция нефтеловушек с учетом возможности как последовательной, так и параллельной работы нескольких нефтеловушек [1,2].

Скорость очистки сточных вод в нефтеловушке находится под воздействием таких факторов как: физико-химические характеристики субстанции состоящей из воды и нефтепродуктов, а именно плотность, вязкость, диаметр дисперсных частиц, который может варьироваться от 1 нм до 10 мкм; скорость движения потока; площадь поверхности. Также надлежит отметить, что нефтеловушки предназначены для очистки сточных вод от масел с концентрацией до 120 мл/л.

К главным преимуществам использования нефтеловушек относятся: возможность установки под землей, несложность обслуживания, защита от неприятных запахов, долговечность, простота монтажа, низкая стоимость. Строение нефтеловушки гарантирует надежную защиту от посторонних запахов и легкий доступ для систематического обслуживания. Скопленные на фильтре нефтепримеси свободно удаляются вручную. Наименьший срок эксплуатации сооружения составляет 25 лет. Недостатками этих установок являются невысокая результативность и громоздкость конструкции. Если необходимо получить требуемую степень очистки сточных вод от взвеси нефтепродуктов то следует понимать что, времени пребывания воды в отстойнике в таком случае, может составить и несколько часов. Для таких случаев можно предусматривать несколько параллельно установленных устройств.

При очистке не очень больших объемов всевозможных категорий сточных вод, в том числе и с содержанием нефтепродуктов, некоторую проблему доставляют их прием и выравнивание концентраций загрязнений. Для этих целей допускается предложить использование такого сооружения как усреднитель-отстойник. В сооружении наряду с накоплением и усреднением выполняется уменьшение объема осадка сточных вод посредством его уплотнения, пневматическая флотация и сбор выплывших нефтепродуктов в зависимости от качества и количества воды. Для этого применяются установки напорной флотации марки и седиментации.

Главное преимущество флотаторов заключается в следующем: небольшое время обработки очищенной воды, примерно 3–5 мин. (в флотаторах старых конструкций 20–30 мин., в отстойниках 90–120 мин.), малая высота слоя воды в ванне флотатора, где-то 0,4–0,5 м (в флотаторах старых конструкций 1–1,5 м, в отстойниках 3–8 м), значительно меньшие размеры, концентрация взвешенных веществ в осветленной воде 20–30 мг/л, концентрация флотошлама 2–4 %, небольшая масса установок в рабочем состоянии, нагрузка на перекрытие не превышает 730 кг/м<sup>2</sup>. Исходя из этих преимуществ установки, можно отметить, что есть возможность позволять размещать флотаторы в любом помещении и даже на крыше зданий [3].

Метод электрокоагуляции также может рассматриваться как один из способов для очистки от маслоэмульсионных сточных вод. Метод базируется на электролизе воды в присутствии растворимых алюминиевых

электродов, что подразумевает способ очистки воды с использованием постоянного тока. Реже для данной цели применяют растворимые стальные электроды. Простота устройства установок электрокоагуляции и универсальность метода, который качественно избавляет оборотные промышленные воды от нефтепродуктов и взвешенных примесей обуславливают применение метода электрокоагуляции и в индустриальной практике.

Бесспорными достоинствами метода электрокоагуляции являются: разносторонность применения; высокие показатели уровней очистки природных и сточных вод; элементарное конструктивное устройство электролизеров – устройств применяемых для выделения из раствора его составляющих; отсутствие стороннего образования хлоридных и сульфатных солей как при реагентной коагуляции; добавочное обеззараживание воды кислородом, который образуется при протекании электрохимических реакций на электродах в растворе.

Плюсы электрокоагуляционного способа обработки оборотных и сточных вод интенсифицировали внедрение этого метода очистки в производственные процессы. Однако при адаптации технологии электрокоагуляции на практике были обнаружены недостатки, которые ограничивают расширенное применение данного способа в промышленных масштабах: ограниченная производительность; высокое энергопотребление, вследствие этого и дороговизна способа; необходимость большого количества листового металла; быстрое формирование на поверхности металла тонких оксидных или солевых пленок, что препятствует контакту металла с кислородом и другими агрессивными средами; засорение межпластинчатого пространства осадками гидроксидов и основных солей металлов, вследствие этого и снижение эффективности очистки; образование отходов которые в последующем сложно использовать; за счет выделения на катоде водорода повышается ещё и взрывоопасность метода.

Электрокоагуляция в основном содействует удалению эмульгированных нефтепродуктов, а растворенные – удаляются только наполовину в результате адсорбции на гидроксиды алюминия либо железа. Со временем происходит «старение» осадков гидроксидов, в результате чего их поглощающая способность понижается. Электрокоагуляция не гарантирует устранение растворенных органических веществ. В воде остаются растворенные нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, компоненты смазочно-охлаждающих жидкостей и моющих растворов, продукты распада всевозможных веществ, фосфаты, силикаты, что портит седиментационные свойства образующейся взвеси. Все это инициирует необходимость применения дополнительных устройств для интенсификации процесса очистки и доочистки воды.

С целью повышения действенности очистки маслоэмульсионных сточных вод нами проанализировано магнитное фильтрование, которое основано на использовании магнитных жидкостей или ферромагнитной загрузки фильтра, размещенной в магнитном поле.

В обоих вариантах загрязняющие вещества должны обладать способностью либо экстрагироваться магнитной жидкостью, либо задерживаться загрузкой фильтра. Технология магнитного фильтрования позволяет свободно регулировать задерживающую способность фильтра путем изменения величины индукции магнитного поля [4].

Процесс создания проекта и его фиксация в какой-либо внешне выраженной форме, а также строительство таких очистных сооружений необходимо выполнять строго специализированными организациями, имеющими достаточный опыт выполнения подобных работ и соответственно лицензии на проектирование и строительство очистных сооружений.

Как и ранее упоминалось ещё одним наиболее приемлемым средством предотвращения сброса в городскую канализацию сточных вод содержащих значительные концентрации масел и нефтепродуктов, является создание замкнутых систем оборотного водоснабжения. В этом методе уже единожды использованные воды могут служить в одном и том же производственном процессе без осуществления их сброса в природные водоемы, а также канализацию. Стоит так же отметить, что выбор системы и схемы водоснабжения объектов производства осуществляется на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом вида источников водоснабжения, требований к давлению, количеству и качеству воды, режиму водопотребления, требования к надежности подачи воды, условий месторасположения предприятия и особенностей технологических процессов на предприятии, местных условий и специфики объектов потребления воды.

После выяснения всех недостатков в особенности сооружений механической очистки сточных вод можно сделать вывод, что нефтеловушка в данном случае является оптимальным вариантом для использования, что подчеркивает её невысокую стоимость, простота эксплуатации и требуемые показатели очистки сточных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Долина Л.Ф.* Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод: Монография. – Днепропетровск: Континент, 2005. – 296 с.
2. Проектирование сооружений для очистки городских сточных вод: механическая очистка и обработка осадков: учебно-методическое пособие / И. В. Журавлева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2022.
3. Проспект фирмы «ООО. НПФ «ЭККОС»», Россия, г. Ярославль, 2004.
4. *Гамеля Н.Д., Радовенчик В.М., Хохлова А.П.* Использование ферромагнетиков для объёмной очистки воды от нефти // Экотехнологии и энергосбережение, 2001, №4, с. 37–39.

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ В ЧЕРТЕ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

## EFFICIENCY OF THE USE OF GREEN ROOFS WITHIN THE SETTLEMENT

**А. Д. Гиль<sup>1,2</sup>, В. Н. Копиця<sup>1,2</sup>**

**A. D. Gil<sup>1,2</sup>, V. N. Kopitsa<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
alesya.gil@list.ru, v\_kapitsa@iseu.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В нынешнее время озеленение крыши говорит о явном использовании технологий энергосбережения. Данные крыши всё чаще используются как одна из мер к адаптации городского климата, учитывая немалое количество практических доказательств их пассивного охлаждающего эффекта для зданий. Затенение обычной поверхности крыши, более значительное альbedo и скрытое охлаждение за счёт испарения растительностью можно использовать для снижения температуры поверхности и воздуха в городе.

At the present time, the greening of the roof speaks about the explicit use of energy-saving technologies. These roofs are increasingly being used as one of the measures to adapt to the urban climate, given the considerable amount of practical evidence of their passive cooling effect for buildings. Shading of the usual roof surface, a more significant albedo and latent cooling due to evaporation by vegetation can be used to reduce the temperature of the surface and air in the city.

*Ключевые слова:* «зелёная» кровля, энергосбережение, энергоэффективность.

*Keywords:* “green” roof, energy saving, energy efficiency.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-80-83>

Первоначальным образом зеленой крыши можно считать первое жилище доисторического человека, покинувшего пещеру и соорудившего навес или шалаш из растительного материала, используя стволы и ветви деревьев, различные травы и мох. На протяжении многих столетий деревянные крыши домов покрывали соломой и камышом, утепляя их в странах с суровым климатом слоем земли, на котором вырастала трава. Традиция покрывать деревянные жилища травой издавна существовала в странах Скандинавии, где до сих пор еще встречаются старые крестьянские дома с травяным покровом из дерна, уложенного поверх березовой коры.

Сооружение садов на крыше практиковалось еще в глубокой древности и появились вначале на Ближнем Востоке, где было принято строить здания с плоскими крышами. Их родиной считаются Ассирия и Вавилон, где уже за шесть столетий до н. э. были построены так называемые «висячие сады Семирамиды», считавшиеся седьмым чудом света. Висячий сад представлял собой несколько террас, расположенных одна над другой наподобие пирамиды и создающих равномерно распределенную на основание нагрузку, и производил впечатление огромных зеленых ступеней. Самая верхняя терраса возвышалась над землей на 25 м, и весь сад, обращенный к югу, размещался на сводчатых перекрытиях камер, которые служили погребями. Растения в этих садах, имевших специальную водопроводную систему, были высажены как в природе: на верхней террасе, где среди зелени были освежавшие воздух фонтаны – росли высокорослые, а более низменные – на нижней террасе, куда спускались каскады ручьев [2]

Со временем зеленые крыши начинают продвигаться на север Европы, где в южной части Нюрнбергского замка германского императора Фридриха III в 1487 г. была построена зеленая крыша в виде висячего сада с виноградниками, фруктовыми деревьями и цветами. Такой же сад устроил в Тироле над замком Амбрас и эрцгерцог Фердинанд. Позднее, в Германии, на крыше дворца архиепископа Иоганна-Филиппа в Пассау был создан двухуровневый сад, в котором преобладали цветники, а деревья и кусты были высажены в кадки. Вскоре дома с крышами-садами появились не только в Италии, но и в более северных странах, например, в богатых немецких городах Нюрнберге, Аугсбурге, и даже в Англии.

С двадцатых годов прошлого века стали появляться новые технические решения крыш-садов, и их строительство расширилось еще больше, распространяясь по разным странам. В настоящее время в Германии, где озеленено уже 10% всех крыш, и в ряде других европейских стран, включая, Австрию, Италию, Нидерланды,



Норвегию, Швецию, Швейцарию и Великобританию, существуют ассоциации, активно продвигающие идею озеленения крыш. В Канаде и в США «зелёные крыши» также становятся популярны, хотя их количество ещё не так велико, как в Европе. [3]

В современных условиях уплотнения городских территорий существенно снижается площадь городских зеленых насаждений. Повышение численности жителей населенных пунктов увеличивает потребление энергоресурсов, и в первую очередь, выжигание большего количества горючего топлива в потребности энергетики, что приводит к стремительно отрицательному воздействию на окружающую среду. Приблизительно около половины абсолютно всех энергоресурсов, вырабатываемых в обществе, используется для улучшения качества жизни населения. В первую очередь это отопление и вентиляция жилых помещений. По этой причине контролирование энергоэффективности сооружений, а также ее увеличение являются важными процедурами контроля экономии энергоресурсов. Для устранения данных проблем и оптимизации городской среды возникла идея создания вертикальных садов и зеленых крыш, которые получают все более широкое распространение как в городах, так и малых населённых пунктах.

Энергетическая эффективность – это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведённым в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю. Уже много лет крупнейшей организацией, формирующей мировую политику в области энергетической эффективности, является Международное энергетическое агентство (МЭА), чьи директивы, регулирующие класс энергосбережения, действуют во всём мире.

Для зданий и сооружений классом энергосбережения является отношение расчётного или действительного удельного расхода тепловой энергии на отопление или вентиляцию на квадратный метр к установленному нормативному расходу.

Сам удельный расход энергии зависит от геометрии здания, теплотехнических характеристик, свойств инфильтрации воздуха ограждающими конструкциями и уровня теплового поглощения покрытием кровли [4].

В Беларуси вопросы эффективного энерго- и теплосбережения стали особенно актуальными после принятия в 1998 году Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении» [1].

В нынешнее время повышение энергоэффективности здания на этапе проектирования или его ремонта имеет большую значимость. Один из возможных способов достижения требуемой энергетической эффективности за счёт зелёной кровли заключается в уменьшении теплопроводности кровельного «пирога», то есть за счёт увеличения толщины эффективного утеплителя (например, минеральной ваты).

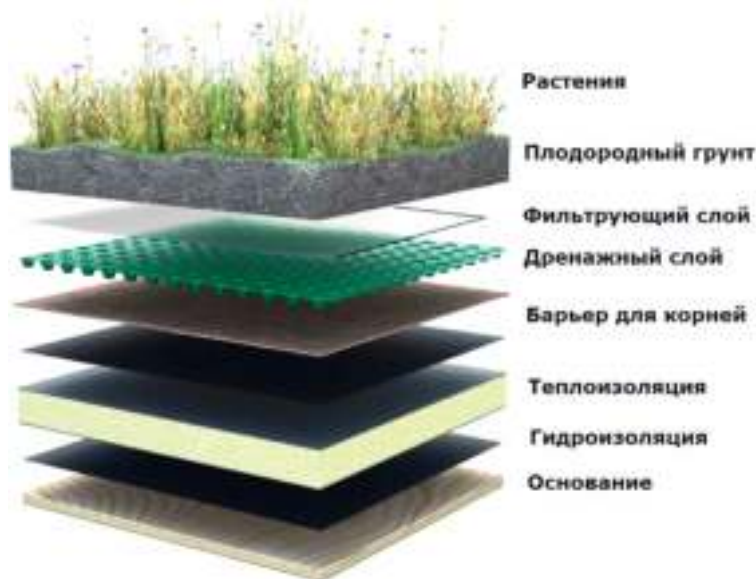


Рисунок 1 – Защитный слой кровли

Размещенный на такой крыше экологический защитный слой предохраняет изоляцию от механических воздействий, защищает кровлю от перегрева и старения (Рис. 1).

По данным практических исследований, проведенных министерством окружающей среды Канады, было обнаружено снижение на 26 % в потребностях охлаждения летних и сокращение потерь тепла на 26% в зимних условиях при использовании зеленой кровли. Что касается горячей летней погоды, зеленая кровля способна уменьшить солнечное отопление здания отражая 27 % солнечного излучения, поглощая 60% растительностью в процессе фотосинтеза и испарения и поглощая оставшиеся 13 % в питательной среде. Такое смягчение солнечного излучения было установлено снижением температуры здания до 20С° и уменьшить энергетические потребности для кондиционирования воздуха на 25 % - 80 % [4].



Максимальная экономия энергии достигается за счет экономии на кондиционировании на территории наибольшей эффективности строительства «зеленых» крыш, и за счет сокращения нагрева кровли при температуре окружающей среды более 30 °С. На территориях средней эффективности и наиболее эффективных территориях экономия энергии складывается из сокращения затрат на отопление, за счет теплоизоляционных характеристик зеленых растений и субстрата, и сокращения расходов на кондиционировании помещений. Применение «зеленых» кровельных покрытий с использованием всех фильтрационных и дренажных слоев препятствует перегреву кровли и способствует сохранению температуры внутри здания, повышая таким образом энергоэффективность сооружения и продлевая срок службы кровли и сооружения в целом.

Помимо очевидных, на первый взгляд, экологических преимуществ «зеленых» крыш, таких как улучшение микроклимата и создания благоприятной среды, существует еще ряд экономических выгод: экономия энергии на кондиционировании и отоплении помещений по сравнению с аналогичными зданиями с традиционными крышами, улучшение шумоизоляции и продления срока службы крыши.

В настоящее время экологическая политика городов – это не только их перепланировка с тем, чтобы сделать урбанизированные пространства более удобными и чистыми, но и дальнейшее ограничение автомобильного транспорта в центрах городов, и озеленение крыш и стен зданий – с целью очистки воздуха и борьбы с летней жарой, а также введение энерго- и ресурсоэффективных технологий на основе возобновляемых источников энергии.

Если рассматривать экономическую сторону проекта, то стоимость обслуживания зеленой кровли напрямую зависит от типа озеленения: интенсивное озеленение, как правило, требует большего ухода. Этот вид озеленения является более дорогостоящим и трудоемким, поскольку предполагает насаждение различных видов растений (деревьев, кустарников, цветов), а также более сложный дизайн, включая декоративные элементы, садовые дорожки и т.д. Для формирования такого типа кровли необходимы прочные несущие конструкции и почвенный слой толщиной до 1 метра.

Экстенсивная зеленая крыша не предназначена для эксплуатации, она покрывается только газонной травой, а более крупные растения высаживаются в отдельные емкости, наполненные грунтом. Доступ на нее возможен только для обслуживающего персонала.

Не стоит забывать, что стоимость ремонта зеленой крыши и ее обслуживания в процессе эксплуатации компенсируется большей долговечностью кровли и гидроизоляции (ведь в случае с растительным покрытием она защищена от атмосферных осадков и воздействия солнечных лучей), экономией в энергопотреблении здания, а также повышенной шумоизоляцией.

Поэтому, по опыту применения «зеленых» крыш в разных странах и проводимых экспериментов в лабораторных условиях и на специальных стендах можно сделать вывод – «зеленые» кровли увеличивают энергоэффективность здания, но для того, чтобы процент энергоэффективности был высокий необходимо тщательно подбирать и тестировать кровельные слои: теплоизоляционные, дренажные, фильтрационные и применяемые в этих слоях материалы [5].

Строительство «зеленых» крыш позволяет улучшить теплотехническую эффективность здания, снизить температуру на поверхности крыши в теплое время года, снизить нагрузку на ливневую систему благодаря естественной абсорбции осадков в кровельную систему, создать дополнительный шумовой барьер благодаря акустическому барьеру, создаваемому зелеными насаждениями. С точки зрения создания благоприятной и экологичной городской среды в «зеленых» крышах тоже есть преимущества перед обычными крышами: улучшение кислородного баланса, нейтрализация пыли, регуляция влажности воздуха, новые жизненные пространства для флоры в городской среде, увеличению естественной природной территории для проживания птиц. Кроме того, «зеленая» крыша – имеет эстетическую сторону, и является дополнительным местом отдыха жителей мегаполиса.

Также при строительстве следует учитывать, что необходимо использовать только качественные специализированные материалы. Например, только те дренажно-влагонакопительные мембраны, которые сохраняют форму под давлением грунта и тем самым обеспечивают накопление воды в своих ячейках и беспрепятственный отвод избыточной влаги по каналам, образующимся под мембраной. Обязательно защищать конструкции от корневой системы, важно, чтобы дренажно-влагонакопительный слой на «зеленой» кровле был непрерывным по всей ее поверхности. Не менее важно применять не произвольный набор материалов, а готовые системы озеленения, представленные на рынке, во избежание неправильного функционирования тех или иных элементов крыши, к выбору субстрата и растений следует относиться внимательно и выбирать с учетом климатических особенностей.

Что касается развития зеленых крыш на территории Беларуси, то на данный момент это направление не столь развито. В качестве примера можно использовать строительство «зеленой» крыши гимназии в г. Марьино Горка, которая является первым проектом перехода страны к «зеленой» экономике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 27.02.2023.
2. Беликова, Т.Н. Зелёные крыши или «Сады Семирамиды» / Т.Н. Беликова // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. – 2014. – № 2 (5). – С. 18–29.
3. Груб Г. Зеленъ между домами (идеи, концепции, примеры введения элементов природы в производственную среду) / Баварский ипотечный банк. Мюнхен, 1997. – 200 с.

4. Аирабов А.А., Сагатов Б.У. О передаче напряжений через трещины железобетонных элементах // Молодой ученый, 2016. № 7–2. С. 41–45.

5. Корпорация «ТемпСтройСистема». Зеленые кровли в России: проблемы и перспективы // Инновационные технологии «Зеленые здания» – М., 2013. – № 2. – С. 96–99.

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КОТЕЛЬНОЙ НА ТОРФОБРИКЕТНОМ ЗАВОДЕ**

### **DEVELOPMENT OF MEASURES TO MINIMIZE THE ENVIRONMENTAL IMPACT DURING THE CONSTRUCTION OF A BOILER HOUSE AT A PEAT BRIQUETTE PLANT**

***М. П. Евсевич<sup>1,2</sup>, В. М. Мисюченко<sup>1,2</sup>, М. П. Симонова-Лобанок<sup>3</sup>  
М. P. Evsievich<sup>1,2</sup>, V. M. Misiuchenka<sup>1,2</sup>, M. P. Simonova-Lobanok<sup>3</sup>***

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
evsievich.mari@gmail.com*

*<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск Республика Беларусь*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEU BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>3</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Проанализировано воздействие на окружающую среду строительства котельной на фрезерном торфе на торфобрикетном заводе. Установлено, что при размещении объекта планируется увеличение выбросов в атмосферный воздух и сбросов загрязняющих веществ более чем на 5 %. Для снижения негативного воздействия на окружающую среду были предложены такие мероприятия как оснащение батарейными циклонами и рукавными фильтрами проектируемых твердотопливных котлов, установка технологических вентиляторов на резиновые прокладки или резинометаллические виброизолирующие опоры для снижения уровня шума и вибрации, подключение центробежных вентиляторов к воздуховодам через гибкие вставки; контроль водоотведения и водопотребления, организация регулярной уборки территории котельной для предотвращения загрязнения поверхностных сточных вод, хранение отходов на специально оборудованных гидроизолированных площадках в герметичных контейнерах.

The environmental impact of the construction of a boiler house on milling peat at a peat briquette plant is analyzed. It is established that when the facility is located, it is planned to increase emissions into the atmospheric air and discharges of pollutants by more than 5 %. To reduce the negative impact on the environment, such measures were proposed as equipping designed solid fuel boilers with battery cyclones and bag filters, installing process fans on rubber gaskets or rubber-metal vibration-isolating supports to reduce noise and vibration, connecting centrifugal fans to air ducts through flexible inserts; control of water disposal and water consumption, organization of regular cleaning of the boiler room territory to prevent contamination of surface wastewater, waste storage on specially equipped waterproofing sites in sealed containers.

**Ключевые слова:** фрезерный торф, склад топлива, котельная, выбросы в атмосферный воздух, шум, санитарно-защитная зона, окружающая среда, оценка воздействия, нормативные требования, мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду.

**Keywords:** milling peat, fuel storage, boiler house, atmospheric emissions, noise, sanitary protection zone, environment, impact assessment, regulatory requirements, measures to reduce environmental impact.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-83-87>

Рассмотрена деятельность одного из предприятий Республики Беларусь по производству топливных брикетов на основе фрезерного торфа. Разработана проектная документация на реконструкцию существующей котельной, выбросы загрязняющих веществ от которой не соответствовали нормативным требованиям [1]. Существующая котельная оборудована тремя котлами ДКВР-6,5/13, работающими на фрезерном торфе. Из имеющихся трех котлов ДКВР-6,5/13 работает один котел, второй- резервный, третий – законсервирован. Дымовые газы,

образующиеся в процессе сжигания топлива, выбрасываются в атмосферу после очистки в циклонах золоуловителях типа ЦН -15 в количестве 2 шт. на каждый котел через дымовую трубу. При проведении инструментальных замеров было установлено несоответствие требованиям ЭкоНиП 17.01.06 – 001-2017, утвержденных постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды №5-Т от 18 июля 2017 г:

режим I (расход торфа – 12 т/сут):

- концентрация углерод оксида – 4219,1 мг/м<sup>3</sup> (при норме 2000,0 мг/м<sup>3</sup>);
- концентрация твердых частиц суммарно – 1703,9 мг/м<sup>3</sup> (при норме 300,0 мг/м<sup>3</sup>).

режим II (расход торфа – 14 т/сут):

- концентрация диоксида азота – 819,2 мг/м<sup>3</sup> (при норме 750,0 мг/м<sup>3</sup>);
- концентрация твердых частиц суммарно – 1414,8 мг/м<sup>3</sup> (при норме 300,0 мг/м<sup>3</sup>) [2].

На основании вышеизложенного для обеспечения норм выбросов природопользователю рекомендовано проводить режимно-наладочные испытания на котле ДКВР-6,5/13, осуществлять рециркуляцию дымовых газов, осуществлять контроль состояния котла с целью исключения подсосов воздуха в топку, осуществлять контроль соответствия режимов работы котлов режимным картам, проводить систематические контрольные замеры выбросов подрядной организацией. Ввиду того, что эксплуатация котельного оборудования в таком состоянии не допускается, было принято решение о строительстве новой котельной установленной мощностью 3,3 МВт. В котельном зале предусматривается установка двух водогрейных котлов на МВТ (фрезерный торф) «КВ-Рм-1,5Т-105», мощностью 1,5 МВт, и «КВ-Р-0,3-95», мощностью 0,3 МВт. Основная задача заключалась в замене физически и морального устаревшего теплоэнергетического оборудования, оптимизации расходов топлива и расходов на обслуживание, а также качественном обеспечении тепловой энергией потребителей.

Назначение котельной - приготовление теплоносителя для отопления и горячего водоснабжения поселка. Топливо - фрезерный торф ( $Q=2260$  ккал/кг ( $9,47$  МДж/кг),  $W=41,7\%$ ,  $Ar=17,4\%$ ). Режим работы котельной - круглосуточно, круглогодично ( $8424$  ч/год) с остановкой котельной на профилактические работы 14 дней в межотопительный период. Категория котельной по надежности отпуска тепла - вторая. Теплоноситель - вода с параметрами  $95-70^{\circ}\text{C}$ . Общая подключенная нагрузка  $2,2596$  МВт ( $1,9432$  Гкал/ч) (с учетом собственных нужд и потерь в сети). Технологическими решениями предусматривается устройство в неотапливаемых помещениях автоматической системы подачи топлива (торф фрезерный топливный) в накопительный бункер котельной. В составе производственного здания запроектирован подвижный пол, который доставляет топливо в горизонтально-наклонный скребковый транспортер, из которого по распределительному транспортеру в накопительный бункер.

Данное предприятие попадает в зону санитарной охраны источников питьевого водоснабжения. В соответствии с законодательством в границах третьего пояса зон санитарной охраны подземных источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения, использующих недостаточно защищенные подземные воды, запрещаются:

- размещение и строительство объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов, складов горюче-смазочных материалов, мест погребения, скотомогильников, навозохранилищ, силосных траншей, объектов животноводства, полей орошения сточными водами, сооружений биологической очистки сточных вод в естественных условиях (полей фильтрации, полей подземной фильтрации, фильтрующих траншей, песчано-гравийных фильтров), земляных накопителей;

- складирование снега, содержащего песчано-солевые смеси, противоледные реагенты.

В границах второго пояса зон санитарной охраны подземных источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения действуют запреты и ограничения, указанные в части первой статьи 26, а также запрещается применение химических средств защиты растений и удобрений (не предусмотрено).

В границах первого пояса зон санитарной охраны подземных источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения действуют запреты и ограничения, указанные в частях первой и третьей статьи 26, а также запрещаются:

- строительство капитальных строений (зданий, сооружений), за исключением строительства капитальных строений (зданий, сооружений), связанных с подачей и подготовкой питьевой воды;
- посадка деревьев [3].

В соответствии с разработанным актом инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на промплощадке имеется 22 действующих источника выбросов, в том числе 4 неорганизованных, 18 организованных, 2 оснащенных газоочистными установками. Суммарный валовый выброс загрязняющих веществ составляет  $44,462392$  т/год. Получено разрешение на выбросы, которое устанавливает такие условия:

1. Не допускать эксплуатацию котельного оборудования в несоответствии с режимными картами.
2. Проектирование (с разработкой в составе проекта решений по внедрению перспективных методов подавления генерации загрязняющих веществ) и строительство новой котельной.

Источниками воздействия на атмосферу на стадии строительства являются:

- автомобильный транспорт и строительная техника, используемые при подготовке строительной площадки и в процессе строительно-монтажных работ (снятии плодородного почвенного слоя, рытье траншей, прокладка инженерных сетей и т.д.). При строительстве осуществляются транспортные и погрузочно-разгрузочные работы, включающие доставку на стройку и рабочие места материалов, конструкций и деталей, приспособлений, инвентаря и инструментов;

- строительные работы (приготовление строительных растворов и т.п., сварка, резка, механическая обработка металла (сварка и резка труб, металлоконструкций) и др.), кровельные, штукатурные, окрасочные, сварочные и другие работы.

Приоритетными загрязняющими веществами являются пыль неорганическая, сварочные аэрозоли, летучие органические соединения, окрасочный аэрозоль, твердые частицы суммарно, оксид углерода, азота диоксид, сажа, серы оксид, углеводороды предельные C1-C10, углеводороды предельные C11-C19.

Для минимизации загрязнения атмосферного воздуха в процессе строительства объекта разработаны следующие мероприятия:

- все работающие на стройплощадке машины с двигателями внутреннего сгорания в обязательном порядке будут проверены на токсичность выхлопных газов;
- работа вхолостую механизмов на строительной площадке запрещена;
- организация твердых проездов на территории строительной площадки с минимизацией пыления при работе автотранспорта.

Поскольку воздействие от данных источников будет носить временный характер, а также учитывая предусмотренные мероприятия, влияние на атмосферный воздух источников выделения загрязняющих веществ при строительстве котельной будет допустимым. Для определения влияния источников выбросов на загрязнение атмосферного воздуха был выполнен расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ по программе «Эколог» (версия 3.1). Существующие источники выбросов предприятия приняты на основании Акта инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Также при расчете рассеивания были учтены существующие источники выбросов, не отраженные в Акте инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух:

- парковка служебного и личного транспорта на 7 машиномест;
- существующая канализационная насосная станция;
- подвижной железнодорожный состав при доставке торфа на площадку.

При расчете рассеивания были учтены выбросы при работе двигателей автотранспорта (приемка/отправка почты). Также при проведении расчета рассеивания подготовительное отделение, конвейер сырья, котел ДКВР-6,5-13 приняты как вклад источника исключается из фона. Существующие источники выбросов приняты как источник учитывается с исключением из фона, а проектируемые как источник учитывается.

Расчет рассеивания произведен для наихудшего положения:

- при одновременной работе технологического оборудования;
- при одновременном нахождении грузового автотранспорта и железнодорожного подвижного состава [4].

Расчет рассеивания показал, что превышений предельно допустимых концентраций на границе расчетной СЗЗ, границ земельных участков усадебного типа застройки, малоэтажной жилой застройки, территории учреждения образования не наблюдается. (Данные объекты находятся на границе расчетной СЗЗ, поэтому и контролируются). Прогнозируемый уровень загрязнения атмосферного воздуха с учетом фона, определённый расчетными методами, на границе расчетной СЗЗ находится в пределах 0,001 – 0,45 ПДК по всем рассматриваемым веществам.

Прогнозируемый уровень загрязнения атмосферного воздуха с учетом фона, определённый расчетными методами, на границе жилой зоны находится в пределах 0,001 – 0,45 ПДК по всем рассматриваемым веществам [5].

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха шумовым воздействием на стадии строительных работ будет являться автомобильный транспорт и строительная техника, используемые в процессе строительных работ. При строительстве осуществляются транспортные и погрузочно-разгрузочные работы, включающие доставку на стройку и рабочие места материалов, конструкций и деталей, приспособлений, инвентаря и инструментов. На основании расчетов прогнозируемые уровни шума на границе расчетной санитарно-защитной зоны и на границе жилой зоны не превышают ПДУ звука в соответствии с санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 16.11.2011 г. № 115.

Для минимизации загрязнения атмосферного воздуха шумовым воздействием при строительстве объекта предусмотрены следующие мероприятия:

- запрещена работа механизмов, задействованных на площадке строительства, вхолостую;
- строительные работы производятся, в основном, щадящими методами, вручную или с применением ручного безударного (долбежного) и безвибрационного инструмента;
- при производстве работ не применяются машины и механизмы, создающие повышенный уровень шума;
- стоянки личного, грузового и специального автотранспорта на строительной площадке не предусмотрены;
- ограничение пользования механизмами и устройствами, производящими вибрацию и сильный шум только дневной сменой;
- запрещается применение громкоговорящей связи.

Проведен анализ вибрации, основанием служит постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 26.12.2013 № 132 «Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий», Гигиенического норматива «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах



с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий»» (в редакции постановления Минздрава от 15.04.2016 № 57).

При проведении строительных работ на территории промплощадки, возможна эксплуатация:

- источников общей вибрации 1 категории (транспортная вибрация).
- источников общей вибрации 3 категории (технологическая вибрация).

Для снижения негативного воздействия от источников технологической вибрации предусмотрены следующие мероприятия:

- в воздуховодах приняты оптимальные скорости движения воздуха;
- оборудование подобрано с максимальным коэффициентом полезного действия.
- предусмотрено современное вентиляционное оборудование с низкими уровнями шумового воздействия.

Тепловоз узкоколейный типа ТУ-7, используемый для доставки торфа имеет конструкционную (максимальную) скорость 50 км/час. На территории предприятия скорость движения железнодорожного состава относительно незначительная и составляет 30 и менее км/ч.

Таким образом, уровни общей вибрации за территорией объекта будут незначительны, и их расчет является нецелесообразным.

Водоснабжение завода осуществляется из системы коммунального водоснабжения. Вода используется на производственные и хозяйственно-бытовые нужды. Водоотведение сточных вод осуществляется в сети коммунальной канализации.

Перед началом производства работ производится срезка травяного покрова с площади  $S = 7370,0 \text{ м}^2$ , удаление четырех деревьев диаметром ствола от 8 до 10 см, древесно-кустарниковой растительности в объеме 1 куст ирги. В связи с чем согласно Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 25.10.2011 г. №1426 (в ред. Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 17.09.2021 г. № 537) назначаются компенсационные выплаты.

Плодородный грунт на месте производства работ отсутствует. После производства работ предусматривается озеленение территории общей площадью 4116 м<sup>2</sup>.

Озеленение предусматривается посевом трав с внесением растительного слоя толщиной 0,1 м.

В связи с отсутствием плодородного слоя почвы на месте производства работ, проектом предусматривается его доставка в объеме 283 м<sup>3</sup> автотранспортом.

Отходы, образующиеся в процессе проведения демонтажных работ, предусматривается временно хранить на специально отведенной оборудованной площадке с целью последующей передачи на использование. В процессе строительства котельной на фрезерном торфе образование отходов производства не предусматривается.

Были разработаны и предложены следующие основные мероприятия по предотвращению или снижению потенциальных неблагоприятных последствий при строительстве и эксплуатации проектируемого объекта.

- в соответствии с п.13.1.3 ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 при проведении контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от проектируемых стационарных источников выбросов отбор проб и проведение измерений осуществляется не реже одного раза в квартал;

- оснащение батарейными циклонами со степенью очистки  $N_c=95\%$  и рукавными фильтрами со степенью очистки  $N_c = 99,8 \%$  проектируемых твердотопливных котлов, а также своевременная проверка эффективности газоочистных установок;

- работа вхолостую механизмов на строительной площадке запрещена;

- организация твердых проездов на территории предприятия с минимизацией пыления при работе автотранспорта;

- все технологические вентиляторы для снижения уровня шума и вибрации устанавливаются на резиновые прокладки или резинометаллические виброизолирующие опоры;

- центробежные вентиляторы подключаются к воздуховодам через гибкие вставки;

- установки приточных и вытяжных систем механической вентиляции размещаются в специальных звукоизолированных помещениях (венткамерах);

- производственные участки выделяются перегородками в отдельные помещения, а участки с повышенным шумом – звукопоглощающими перегородками;

- для снижения уровня шума от автотранспорта вводятся ограничения по скорости движения, которая не должна превышать 10 км/час;

- для снижения уровня шума от железнодорожного состава вводятся ограничения по скорости движения, которая не должна превышать 30 км/час;

- устройство в местах движения автотранспорта водонепроницаемых покрытий, устойчивых к воздействию загрязняющих веществ (нефтепродуктов, технических жидкостей, используемых в транспортных средствах);

- ограждать деревья, находящиеся на территории строительства, сплошными щитами высотой 2 метра. Щиты располагать треугольником на расстоянии не менее 0,5 метра от ствола дерева, а также устраивать деревянный настил вокруг ограждающего треугольника радиусом 0,5 метра;

- при производстве замощения и асфальтирования проездов, площадей, дворов, тротуаров и т.п. оставлять вокруг дерева свободное пространство не менее 2 м<sup>2</sup> с последующей установкой приствольной решетки;

- выкапывание траншей при прокладке инженерных сетей производить от ствола дерева: при толщине ствола 15 см - на расстоянии не менее 2 м, при толщине ствола более 15 см - не менее 3 м, от кустарников - не менее 1,5 м, считая расстояния от основания крайней скелетной ветви;
  - контроль за водопотреблением и водоотведением;
  - хранение отходов на специально оборудованных гидроизолированных площадках в герметичных контейнерах;
  - организация регулярной уборки территории котельной для предотвращения загрязнения поверхностных сточных вод;
  - организация отвода поверхностных дождевых сточных вод осуществляется через очистные сооружения ливневых стоков (площадь водосбора составляет  $S = 0,371$  га). Сброс поверхностных сточных вод будет осуществляться в проектируемые поля подземной фильтрации.
  - проведение своевременного ремонта дорожных покрытий.
- В целом для снижения потенциальных неблагоприятных воздействий от проектируемого объекта на природную среду и здоровье населения при реализации проекта необходимо:
- строгое соблюдение требований законодательства в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов;
  - строгое соблюдение технологий и проектных решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Беларусь №399-З «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду» [Текст]: принят Палатой представителей 16 июня 2016 года (с учетом изменений в редакции от 15.07.2019 № 218-З). – Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.07.2019, 2/2657 – 23 с.
2. ЭкоНП 17.01.06 – 001-2017, «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности» [Текст]: санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы. – Утвержденные постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды №5-Т от 18 июля 2017 г. (в ред. постановлений Минприроды от 20.12.2018 N 9-Т, от 18.12.2019 N 6-Т). – Минск: Минприроды – 139 с.
3. Закон Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении» [Текст]: принят Палатой представителей 24.06.1999 г. №271-З (в ред. Законов Республики Беларусь от 05.01.2022 N 148-З). – Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 11.01.2022, 2/2868 – 23 с.
4. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» [Текст]: принят Палатой представителей 26 ноября 1992 г. № 1982-XII (в редакции Закона Республики Беларусь от 04.01.2022 г. N142-З). – Минск: Белорусский научно-исследовательский центр «Экология», 2022. – 73 с.
5. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения [Текст]: постановление. – Утвержденные Министерством здравоохранения Республики Беларусь от 08.11.2016 г. № 113 – Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь – 129 с.

## NEGATIVE EFFECTS OF PESTICIDES AND THE USE OF ELICITORS AS A WAY TO REDUCE PESTICIDE LOAD

## ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕСТИЦИДОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛИСИТОРОВ КАК СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПЕСТИЦИДНОЙ НАГРУЗКИ

**V. D. Gvozd, V. S. Znachonak**

**В. Д. Гвоздь, В. С. Значенок**

*Belarusian State University, BSU, Faculty of Biology  
Minsk, Republic of Belarus*

*Белорусский государственный университет, БГУ, Биологический факультет  
г. Минск, Республика Беларусь  
gvozdveronika2004@mail.ru*

Elicitors are substances of a diverse chemical nature that can cause an immune response in plants under conditions of biotic or abiotic stress. These compounds do not exhibit toxicity, are not harmful to the ecological system, and are also safe for humans. In addition, treatment with elicitors is a kind of immunization of plants, as a result of which they become prepared for infections. It is these qualities that allow them to be used to improve the efficiency of agriculture. Including the use of elicitors significantly reduces the use of pesticides. The article describes

the negative impact of pesticides on the biosphere and humans, presents the classification of pesticides and elicitors, the mechanisms of the immune response in plants, as well as the features of the use of elicitors in agriculture.

Элиситоры – вещества разнообразной химической природы, которые могут вызывать иммунный ответ у растений в условиях биотического или абиотического стресса. Данные соединения не проявляют токсичности, не наносят вреда экологической системе, а также безопасны для человека. Кроме того, обработка элиситорами является своего рода иммунизацией растений, в результате которой они становятся подготовленными к инфекциям. Именно эти качества позволяют использовать их для повышения эффективности сельского хозяйства. Применение элиситоров значительно сокращает использование пестицидов. В статье описано негативное воздействие пестицидов на биосферу и человека, представлена классификация пестицидов и элиситоров, механизмы иммунного ответа у растений, а также особенности применения элиситоров в сельском хозяйстве.

*Keywords:* elicitors, pesticides, phytopathogens, pests, resistance, stress.

*Ключевые слова:* элиситоры, пестициды, фитопатогены, вредители, устойчивость, стресс.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-87-91>

**Introduction.** Increase in the population number around the globe has caused the necessity of harvest preservation. For a long time, there has been a noticeable tendency to increase crop losses from plant diseases and pests. The use of chemical pesticides is the most well-known and most commonly used method for plant protection, although it has long been known about the ability of phytopathogens and pests to acquire resistance to the chemicals used. But besides the fact that they stop being sensitive to chemicals, they become more aggressive. All this, in turn, leads to the fact that plants are constantly under stress.

In fact, the use of various chemical compounds against pests or phytopathogens is not new to the humanity. There are reports of Homer (1000 BC) about the use of sulfur as an insect repeller and Alinim (70 BC) about arsenic as a pest killer. Later, copper salts of arsenic acids and nicotine-based drugs began to be used. And in 1925, the first synthetic organic preparations appeared.

So, the main purpose of using pesticides is to ensure maximum efficiency of agriculture. Their rational use dramatically reduces crop yield losses, reduces agricultural costs by 2-3 times, and allows saving agricultural products by 10–12 billion rubles annually [4]. It is important to know that pesticides are used in a wide variety of cases: to control pests and phytopathogens, weeds, ectoparasites of domestic animals and vectors of human and animal diseases.

Today, the total number of known pesticides is hundreds of thousands, despite the fact that 10-15 new chemical compounds are synthesized annually [2].

Due to the particularly high toxicity of some pesticides, their use is significantly reduced, up to a complete ban in countries (such as DDT). To a greater extent, people working in agricultural production are exposed to pesticides, but any other person is also at risk. Getting into the human body in various ways, including from the polluted environment or from plants consumed with food, pesticides can have not only toxic, but also carcinogenic effects [2].

In addition to human exposure, pesticides negatively affect domestic animals (including bees), wild fauna, soil and soil biota, air and water environments, aquatic biota, target and non-target vegetation. And when pests or phytopathogens acquire resistance, either an increase in the dose of drugs and the multiplicity of treatments is required, or the creation of new chemical pesticides. All this further aggravates the environmental situation.

**A variety of pesticides.** Pesticides are a group of quite diverse chemical compounds, including both organic and inorganic. In order to determine the use of the pesticide, it is important to understand its class. Depending on the objects against which they are used, the following types are distinguished:

- 1) herbicides (weed control);
- 2) algicides (weed control of reservoirs);
- 3) insecticides (insect control);
- 4) larvicides (control of larvae, as well as caterpillars);
- 5) limacids (control of mollusks);
- 6) acaricides (control of herbivorous mites);
- 7) anthelmintics (control of helminths), etc.

There is also another classification according to the method of penetration of pesticides and the nature of their effect on harmful agents. Pesticides of the following action can be distinguished:

- 1) contact (death of organisms or suppression of their development occurs in contact with a pesticide);
- 2) systemic (chemicals penetrate into the vascular system of plants or animals and cause their death);
- 3) intestinal (enter the body of pests with food or water and cause their poisoning);
- 4) fumigant (are in a vapor or gaseous state, act on harmful organisms by penetrating them).

According to the chemical structure, many types can also be distinguished, but the most well-known include the following types of compounds:

- 1) organochlorine compounds;
- 2) organomercury compounds.;

- 3) organophosphorus compounds;
- 4) triazine derivatives;
- 5) derivatives of arylcarbamic and alkylcarbamic acids;
- 6) urea derivatives;
- 7) nitrophenols, etc.

Understanding the nature of this or that pesticide makes it easier for farmers and biologists to better select the proper ones to increase the amount of the harvest and, if necessary, to reduce there amount so that to eliminate bad-side effects on the humans and the environment. Besides, it enables them to combine certain types to facilitate their efficiency.

Much is being done to minimize those bad-side effects. At the moment, the use of organochlorine compounds in agriculture is minimized for the following reason. These chemical pesticides are highly soluble in organic solvents and fats, and are also extremely stable in the environment. This type of pesticides includes, for example, heptachlor, aldrin, dichlorodiphenyltrichloromethylmethane (DDT). In addition to the fact that they decay for a long time, they still linger mainly in the upper layers of the soil and slowly migrate to the depths. In the human body, they affect, as a rule, the nervous system, and accumulate mainly in adipose tissue. Unlike organochlorine pesticides, organophosphates are unstable and can be destroyed by temperature. But they easily penetrate through the skin and mucous membranes. Mercury-containing pesticides, as well as those that include arsenic, do not decompose and therefore they are in constant circulation between the environment and organisms.

**The effect of pesticides on humans.** As it was mentioned above, pesticides have harmful effect on the human body. One of the features of pesticides is that they are able to linger and accumulate both in the environment (soil) and in plant and animal organisms. Including this does not bypass a person. Reaching a certain level of concentration increases the likelihood of developing acute chronic diseases (including poisoning, pathologies, developmental abnormalities). Often, the negative impact of pesticides falls on the cardiovascular system, there is a blockage of blood vessels, their weakness occurs.

The consumption of foods that contain pesticides is one of the factors of embryo death in pregnant women and a number of other obstetric pathologies. The child's body and the adolescent's body are also at great risk. So, at a transitional age, girls may experience menstrual cycle failures.

But one should not think that only immature organisms or people with weakened immunity are the first to be in danger. Workers in agriculture, farms and industries expose their bodies to much greater danger. Very often they have pathologies of the respiratory system, various kinds of skin infections, as well as diseases in the subcutaneous layers. In addition to having a toxic effect, can cause the development of pathology. About 125,000 brain tumors and liver cancer are detected annually in young people and girls under the age of 18. A number of researcher's blame this on the destructive properties of toxic chemicals that enter the body together with food and water. [5]. One of the most terrible effects of chemical pesticides on the body is their effect on the human gene. There are a number of pesticides that contribute to the occurrence of mutations in the human body, which can cause various kinds of pathologies that will then be inherited from generation to generation.

**Pesticides and the biosphere.** It was mentioned earlier that chemicals are capable of bioaccumulation, but now it is also known about biotransformation processes. And here there is a problem associated with the fact that during decomposition, both detoxification of pesticides and their toxification can occur, during which even more toxic substances are formed. The environment is unpredictable and due to changes in temperature, humidity, illumination and other abiotic factors, it can affect these decomposition processes.

Unfortunately, compared to the self-purification of the atmosphere and hydrosphere, the self-purification of the soil is very slow. The result of this in the end was that a lot of pesticides remain there indefinitely (depending on the type of pesticides, it can vary, including unlimited) and have a negative impact on living organisms.

One of the characteristics of the biosphere is the presence of the process of migration (transfer) of atoms of elements and natural compounds. This also applies to xenobiotics. Therefore, it is thanks to such a process as migration that the components of pesticides spread over a long distance, depth and height. Thus, the use of a toxic chemical in one place can cause significant harm even on a global scale.

**Classification of elicitors.** Harmful effects of using pesticides gives rise to the necessity of using alternative ways of protecting plants. Unfortunately, at the moment it is impossible to completely abandon pesticides, but there are a number of other ways. One of them is to increase the immune potential of plants. It is this method of solving the problem that the use of elicitors refers to. This can occur in the form of tillage, spraying of plants (during the growing season), soaking of seeds, as well as the plants themselves. The increase in yield from the use of biogenic elicitors as immunizers ranges from 10 to 30 %, depending on the conditions of the year, plant varieties and, especially, the infectious load of pathogens [1]. And most importantly, the use of such resistance inductors allows the plant to acquire systemic resistance (which occurs in all tissues, not just those that came into contact with the elicitor) for the entire growing season).

Like pesticides, elicitors are not a specific chemical compound. By their origin, biotic and abiotic types are distinguished. The first group includes elicitors of pathogenic or plant origin, these can be: polysaccharides (pectin, cellulose, chitosan, chitin), oligosaccharides (galacturonides, mannans), proteins (cellulase, lactoferrin), pathogen toxins (coronatin). Abiotic elicitors are also divided into two groups: physical ( $\text{CO}_2$ , extreme temperatures, high pressure, UV radiation, etc.) and chemical (ethanol, acetic acid, inorganic salts (for example,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{VSO}_4$ ), metal ions (for example,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), etc.).



If the elicitors are of plant origin, they are called endogenous, if they were synthesized by other organisms, then exogenous. The first include DAMPs (damage (danger)-associated molecular patterns). The second group includes MAMPs (microbe-associated molecular patterns) or their second name – PAMPs (pathogen-associated molecular patterns), HAMPs (herbivory-associated molecular patterns), VAMPs (virus-associated molecular patterns), NAMPs (nematode-associated molecular patterns).

What is worth mentioning is that plant hormones can also be considered as elicitors. For example, salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA), while SA contributes to increased resistance to biotrophs, whereas JA – necrotrophs. These acids, among other things, are messenger molecules and are involved in intracellular signal transmission. It is also indicated that SA plays a crucial role in the systemic protective reactions of plants.

Finally, elicitors can be specific and non-specific. The first trigger protective reactions that lead to disease resistance only in certain plants (they carry the gene for resistance to the desired pathogen). Non-specific ones practically do not differ in the way they affect different varieties of the same species (they include DAMPs, MAMPs) [3].

**The basic principles of the action of elicitors.** To better understand the ways of elicitors application in farming, we will consider the mechanism of their affecting the plant. It all starts with the interaction of the elicitor with the receptor on the cell surface. Then, the receptors have a general plan of structure, regardless of what the nature of the elicitor binding to them is. The receptor includes 3 sites: a site located outside the cell, an intramembrane site and a site immersed in the cytoplasm. The outer N-end of the receptor is specific to the elicitor, and the inner C-end is specific to the enzyme associated with the receptor, which determines which of the signaling systems will interact with [3]. After the recognition of the elicitor molecule by the receptor, a signal is transmitted to the intracellular space by means of proteins and messenger molecules (hydrogen peroxide, nitric oxide, as well as the above-mentioned salicylic and jasmonic acids). It is also important that the signal is not only transmitted, but also amplified, which allows the plant to react faster to any changes.

Further ways of the process development are very diverse. One of the early reactions of plant cells to elicitors is the synthesis of activated oxygen forms (ROS), of which hydrogen peroxide and superoxide anion are of particular importance. Most likely, ROS have a direct antimicrobial effect, and are also involved in signal transduction or cell death (the result of a hypersensitivity reaction). It is worth noting that ROS are present in the cell under optimal conditions, although their number is much smaller. They are mainly located in organelles such as mitochondria, chloroplasts and peroxisomes. It is important that the generation of ROS also occurs under abiotic stress, especially in the event of drought, frost, high temperature. The aforementioned salicylic acid is one of the main inducers of ROS formation.

An important role is played by peroxidases, the number and activity of which increases significantly after a surge of ROS. In addition to the fact that peroxidases reduce the negative effects of ROS, they are involved in the oxidation of phenolic compounds to quinones, as well as in the activation of the formation of lignin, one of the components of the plant cell wall, which gives it strength. In addition to the fact that phenols participate in strengthening the cell wall, they also have anti-oxidant and antimicrobial activity.

One of the main protective substances that are synthesized by plants are phytoalexins – antibiotics of plant origin. Currently, about 350 phytoalexins produced in plant tissues in response to the action of elicitors have been characterized [3]. These are usually hydrophobic compounds that are localized around the infected site. Their synthesis is also associated with the previously mentioned hypersensitivity reaction. As a result of this process, dead cells become a place where phytoalexins accumulate and do not allow phytopathogens to spread further. In response to biotic stress, not only phytoalexins are synthesized, but also PR proteins. For example, these include enzymes such as chitinases and  $\beta$ -1,3-glucanases. They are involved in the destruction of the cell wall of fungi.

It is important to note that in addition to the synthesis of compounds aimed at directly countering the stressor, changes also occur with intracellular metabolic processes. Thus, stress proteins affect the increase in the functional activity of some cell organelles (chloroplasts, mitochondria), the power of enzyme systems, the stabilization of membranes. The main role in all reactions occurring after the interaction of the elicitor with the receptor is played by resistance genes. They directly activate the plant's defense mechanisms. But at the same time there is a connection between the signaling system and the genome, which makes it possible to form an adequate response from the cell.

**Preparations based on elicitors.** Using elicitors has its own features. Unlike pesticides, elicitors do not show toxicity, are not harmful to the ecological system, can have a low cost, and are also safe for humans. Another valuable quality is that they prepare plants for subsequent infections or the action of abiotic factors.

It was mentioned earlier that the increase in plant resistance is mainly due to the synthesis of PR proteins, phytoalexins, cell wall components (including lignin), phenolic compounds and many other compounds. Protein synthesis can also be stabilized, which leads to the stabilization of cell membranes, including chloroplast membranes. This helps the active flow of photosynthesis during drought.

The preparations used may be microbiological, while others are chemically synthesized. At the same time, there are different bases for their creation: phytohormones, chitosan, bacterial cultures, organic compounds, inhibitors of chitin synthesis. And then the compounds included in the preparations are perceived by the plant as signaling substances, which leads to the induction of immune protection, the launch of anti-stress programs mentioned above.

Preparations based on arachidonic acid and its derivatives – immunocytophyte and biodux are already known. These chemicals stimulate the production of phytoalexins in plant tissues, which contributes to increased resistance to phytopathogens [3]. Chitosans are a series of drugs that are inducers of resistance to fungal, bacterial and viral diseases. Under the influence of albite, acquired resistance to many diseases develops. Salicylic acid can also be used as a stimulant of protective reactions of plants.

As a significant positive effect of elicitors, it should also be noted that the pesticide load is reduced (by 2 times or more), which contributes to the improvement of the ecological and functional state of agroecosystems [3].

**Conclusions.** Having considered all the previous characteristics, classifications and specifics of the use of both pesticides and elicitors, we came to the following conclusions.

Nowadays, there are two main strategies for combating phytopathogens and pests: the selection of plant varieties for resistance and the use of chemical pesticides. In both cases, there is a problem associated with the fact that harmful agents acquire resistance to chemicals and, among other things, become more aggressive.

Although the use of pesticides is now a fairly proven way to increase agricultural productivity, this does not negate all the consequences of their use. Environmental pollution, death of an organism that is not the purpose of processing, the accumulation of dangerous chemical compounds in animal and plant organisms, which then enter the human body with food, where they cause various changes related to their toxicity and carcinogenicity, the possibility of the formation of even more toxic substances during decomposition are the most evident and grave consequences of the use of chemical pesticides.

The mentioned above problems are the main reason why it is necessary to explore and develop new ways of effective farming. One of these can be called the use of elicitors – substances that can cause plants to respond to biotic and abiotic stress. These compounds are extremely diverse in chemical structure and origin and at the same time can contribute to the emergence of immunity against a particular pathogen, as well as a certain group of agents.

At the same time, it should be understood that the use of elicitors is not a panacea, they are only part of a laborious process to improve the process of growing plants. The use of such chemical compounds or preparations based on them is one of the ways to reduce the load of pesticides in the first place. Nevertheless, the problem needs further exploration. Much research is being done in this field, so there is a hope that optimal solutions will be found soon.

In addition, we should remember that the main harm that occurs in connection with the use of chemical pesticides is a consequence of their irrational use. Now that we have a lot of information about them and are still continuing to investigate their impact on organisms and ecosystems, it is worth aiming our efforts at making up and direct use of sanitary and hygienic standards. In addition, a significant role is played by research related to the clarification of the processes of self-purification of landscapes and their individual elements, as well as the processes of interaction of pesticides with other environmental compounds (radionuclides, metals, etc.). Together with the use of other methods to combat pathogens or counteract abiotic stress, this will help reduce the adverse side effects of pesticides to a minimum.

## REFERENCES

1. Яблонская, Е.К. Применение экзогенных элиситоров в сельском хозяйстве / Е.К. Яблонская // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – №109. – С.1–17.
2. Омарова, З.М. Влияние пестицидов на здоровье детей / З.М. Омарова // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2010. – №1. – С. 59–64.
3. Карпун, Н.Н. Механизм формирования неспецифического индуцированного иммунитета у растений при биогенном стрессе / Н.Н. Карпун, Э.Б. Янушевская, Е.В. Михайлова // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С. 540–549.
4. Шевкопляс-Гурьева, Н.А. Применение пестицидов и их влияние на окружающую среду и здоровье человека / Н.А. Шевкопляс-Гурьева, Г.А. Сивкова // Инновационная наука. – 2020. – №12. – С. 15–16.
5. Завьялова, Я.С. Влияние пестицидов на организм человека / Я.С. Завьялова, В.Д. Богданова // Гигиена. – 2017. – №1. – С. 16–18.

## ЭЛЕКТРОМОБИЛИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

### ELECTRIC VEHICLES: PROSPECTS AND PROBLEMS OF USE

**Н. В. Емельяненко<sup>1,2</sup>, Т. М. Германович<sup>1,2</sup>**

**N. V. Emelianenko<sup>1,2</sup>, T. M. Germanovich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
kem@iseu.by, attractive675@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

Переход на электротранспорт – один из основных мировых трендов. Динамично растет глобальный рынок электромобилей. Прогнозируется, что к 2030 году 20% мирового автопарка будет электрическим.

Развитие электротранспорта открывает качественно новые возможности для городского планирования и значительного улучшения экологической ситуации, формирует мощный импульс для создания новых высокотехнологичных производств в промышленности [1].

The transition to electric transport is one of the main global trends. The global market for electric vehicles is growing dynamically. It is predicted that by 2030, 20 % of the world's car fleet will be electric. The development of electric transport opens up qualitatively new opportunities for urban planning and a significant improvement in the environmental situation, forms a powerful impetus for the creation of new high-tech industries in industry.

*Ключевые слова:* электротранспорт, экологичность, аккумуляторы.

*Keywords:* electric transport, environmental friendliness, batteries.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-91-94>

По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), к 2030 году количество электромобилей вырастет до 127 млн единиц, а электробусов – до 1,5 млн. Ожидается, что спрос на аккумуляторные батареи к электротранспорту увеличится в 15 раз [1].

Сегодня практически все автопроизводители либо производят, либо заявляют, что будут производить электромобили.

Главный аргумент в пользу перехода на электротранспорт – более широкое внедрение чистых и экологически безопасных технологий. Среди прочих достоинств авто на зеленых номерах – энергоэффективность и более высокая производительность по сравнению с транспортом, использующим двигатели внутреннего сгорания (далее – ДВС), сокращение выбросов парниковых газов и вредных веществ, снижение уровня загрязнения воздуха, оздоровление городской среды.

Транспортные системы составляют примерно четверть от мировых выбросов и потребления CO<sub>2</sub>. Предполагается, что переход на экологический транспорт замедлит глобальное потепление на четверть. Автомобили на электрической тяге на текущий момент занимают лидирующую позицию среди экологического транспорта.

Популяризации электротранспорта способствует заявления Volvo и Tesla о запуске серийного производства полностью электрического грузового транспорта в ближайшие годы [1].

По оценкам, в 2022 году во всём мире было реализовано 7,8 млн автомобилей с электрической силовой установкой. Это на 68 % больше, чем в 2021-м. Таким образом, примерно каждая десятая проданная машина являлась электрокаром. Лидируют Европа и Китай, где на долю электромобилей приходится 11 % и 19 % от общего объёма продаж автомобилей соответственно. В США отгрузки электромобилей в 2022-м составили 807 180 единиц, что на 2,6 % больше, чем в 2021 году. Доля электромобилей на американском рынке при этом равна 5,8 %, что значительно ниже по сравнению с европейскими странами и КНР [2].

По данным Министерства энергетики Республики Беларусь, за первое полугодие 2021 года в нашу страну ввезено 2112 электромобилей, что выше чем в 2020 на 302 авто. Растет объем потребления электроэнергии зарядными станциями для электромобилей – за пять месяцев текущего года он составил 3,8 млн кВт·ч [3].

Рынок электромобилей в нашей стране пока находится в стадии формирования, а спрос на персональный электротранспорт удовлетворяется за счет импорта. Развитие этого направления сдерживают достаточно высокая цена на те модели, которые присутствуют на рынке, и отсутствие собственного производства.

В качестве стимулирующих интерес мер предусматриваются развитие инфраструктуры (сети электрозарядных станций), льготирование юридических лиц, доставляющих на территорию страны электротранспорт, зарядные станции и не производимые в Беларуси компоненты для электротранспорта (они освобождены от уплаты таможенных пошлин и НДС). Предприятия республики активно работают над реализацией проекта создания электрогрузовиков грузоподъемностью до четырех и десяти тонн соответственно [3].

В Республике Беларусь утверждена Советом Министров Комплексная программа развития электротранспорта на 2021–2025 годы, объединяющая практически все направления, от которых зависит развитие электротранспорта в стране и предусматривающая научное обеспечение разработок, стандартизация, сертификация, создание нормативно-правовой базы, а также освоение производства компонентов электропривода, самих образцов электротранспорта, создание инфраструктуры – зарядных станций, сервисных центров по ремонту и обслуживанию новой экологичной техники. При реализации программы к 2030 году доля электротранспорта в национальном автомобильном парке может составить порядка 14 % или 565 тысяч электромобилей с потребляемой ими электроэнергией равной минимум 2,3 миллиардам кВт·ч [3].

Ускоренное распространение электромобилей во всех сегментах автомобильного транспорта, повышение доступности инфраструктуры – характерная черта современного мира.

В 2011 году на рынке было всего три разные модели полностью электрических транспортных средств, и их запас хода на полной зарядке (по данным EPA) составлял от 100 до 150 км. Сегодня это число намного выше и составляет около 326 км (202 миль и выше на одну зарядку) [4].

Tesla Model S 100D может преодолеть на одном заряде около 632 километров.

Дальность хода Tesla Model X P100D (Performance) позволяет на одном заряде преодолеть расстояние около 542 километров. Этого вполне достаточно, чтобы спокойно передвигаться по городу несколько дней без

дополнительного подзарядка. Более того, такого запаса хватит для поездки в соседний город. Model 3 позволяет водителю преодолевать дистанцию около 500 километров.

Одним из нововведений, которое привело к росту электромобилей за последнее десятилетие, стали литий-ионные аккумуляторы, которые увеличили срок службы батареи, повысили безопасность, а также снизили вес и цену аккумуляторных блоков. Практически все батареи производятся китайскими, японскими и южнокорейскими компаниями.

В зависимости от емкости аккумулятора и мощности зарядки, для каждой модели электромобиля и гибрида установлена различная продолжительность зарядки (Таблица 1) [4].

Таблица 1

*Время расчета зарядки электромобиля*

| Марка электромобиля | Модель       | Мощность аккумулятора, кВт·ч | Запас хода без подзарядки, км | Мощность зарядной станции (AC), кВт | Время полной зарядки (AC), ч | Мощность зарядной станции (DC), кВт | Время полной зарядки (DC), ч | Время полной зарядки от бытовой розетки, ч | Тип зарядки |
|---------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|-------------|
| Volkswagen          | XL1          | 5,5                          | 50                            | 3,6                                 | 2                            | -                                   | -                            | 2,5                                        | Тип 2       |
| Volvo               | C30 Electric | 24                           | 163                           | 22                                  | 1,5                          | -                                   | -                            | 11                                         | Тип 2       |
| Mini                | Cooper SE    | 36                           | 270                           | 11                                  | 3                            | 50                                  | 0,5 (80 %)                   | 14                                         | Тип 2       |
| NISSAN              | Leaf e+      | 62                           | 385                           | 7                                   | 11,5                         | 50                                  | 1,5 (80 %)                   | 33                                         | Тип 2       |
| Tesla               | Model S 100D | 100                          | 632                           | 16,5                                | 6,5                          | -                                   | -                            | 45                                         | Тип 2       |

С 2014 года электрозаправочные станции работали в Беларуси в тестовом режиме и совершенно бесплатно. Летом 2020 года зарядка электромобилей стала платной и составила 30-40 копеек за 1 кВт/ч.

С 1 мая 2022 года стоимость услуги за 1 кВт·ч составит 35 копеек (медленная зарядка) и 45 копеек (быстрая зарядка).

С 1 октября 2022 года зарядка электромобилей за 1 кВт\*ч составила: медленная зарядка – 0,40 рублей/кВт\*ч. – быстрая зарядка – 0,49 рублей/кВт\*ч [4].

Оплатить зарядку можно с помощью специального приложения, через него также есть возможность отслеживать параметры зарядки электрокара, а именно:

- сколько киловатт заряжено;
- за какое время;
- на какое расстояние их хватит.

В приложении можно забронировать зарядку и увидеть расположение ближайших станций.

По данным на 2022 год в компании «Белоруснефть» работают 600 электрозаправочных станций.

Экономичность эксплуатации можно отнести к преимуществам электромобиля. При сравнении автомобилей одного класса, то на зарядку электрокара уходит примерно в 10 раз меньше средств, чем на заправку авто с двигателем внутреннего сгорания. Техническое обслуживание электромобиля проводится реже. Работа включает замену тормозной жидкости и масла в редукторе через каждые 40000 км пробега, салонного фильтра и тормозных колодок – по необходимости.

Электромобили экологичны в использовании, так как не производят выбросов CO<sub>2</sub> и опасных токсичных выбросов, что уменьшает возможность загрязнения воздуха крупных городов, где автомобильный транспорт является основным средством передвижения жителей. По данным Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха является серьезным экологическим риском для здоровья и, по оценкам, вызывает около двух миллионов преждевременных смертей во всем мире в год. Поскольку озон, мелкая пыль, NO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> были определены Всемирной организацией здравоохранения как наиболее опасные виды, которые в основном или в значительной степени связаны с дорожным движением. Согласно оценкам, в 2019 г. около 37 % случаев преждевременной смерти, связанной с загрязнением атмосферного воздуха, произошли в результате ишемической болезни сердца и инсульта, 18% и 23% – в результате хронической обструктивной болезни легких и острых инфекций нижних дыхательных путей соответственно и 11% – в результате онкологических заболеваний дыхательных путей [5].

Отсутствие громоздких элементов значительно уменьшает риск травмирования при аварии, что увеличивает безопасность водителя и пассажиров. Благодаря генераторному режиму двигателя, Электромобиль может использовать рекуперативное торможение для подзарядки своего электрического аккумулятора.

Наряду с неоспоримыми преимуществами, все чаще обращают внимание на явные недостатки использования электромобилей. В первую очередь рассматривается вопрос экологичности транспорта будущего. Степень экологической безопасности автомобиля стоит определять не только лишь по последствиям от его работы, а с учетом всего жизненного цикл электромобилей – от этапов производства до момента утилизации, в том числе



процессы пополнения энергией и обслуживания машин. Выбросы парниковых газов и ядовитых соединений в воздух при переходе на электротранспорт возникают при производстве энергии для зарядки автомобильных аккумуляторов на тепловых станциях: вместо выхлопных труб автомобилей дополнительный объём загрязнений воздуха исходит из труб электростанций. Повышение уровня потребления электроэнергии, связанное с необходимостью зарядки электрокаров, приводит к большей интенсивности работы электростанций [5].

Научно-технического университета Норвегии сделали безапелляционный вывод – внедрение электромобильного транспорта в тех регионах, обеспечение энергией которых осуществляется на станциях путём сжигания угля, нефти или лингита, с экологической точки зрения попросту бессмысленно. Для того же, чтобы обеспечить экологичность электрических машин в разрезе минимизации загрязнения воздуха, их нужно перевести на зарядку энергией, генерируемой «чистыми» электростанциями – объектами альтернативной энергетики или АЭС.

Большая экологическая опасность электромобилей обуславливается последствиями процессов производства и использования мощных аккумуляторов предприятий, выбрасывающих в окружающую среду гораздо большее количество токсических отходов, чем обычные автомобильные заводы. Основная доля энергозатрат и токсических выбросов приходится на выпуск аккумуляторов. В составе батарей – высокотоксичные компоненты, в том числе литий, опасные соединения никеля, меди и алюминия, кобальта, которые гораздо опаснее, чем выхлопные газы. Довольно острой является проблема их утилизации [5].

При производстве машин на электротяге в атмосферу, по данным Норвежского университета наук и технологий, выходит в два раза больше парниковых газов, что оказалось связано с повышенным энергопотреблением ввиду технологических причин. Сравнив процессы производства и эксплуатации Tesla 3 и дизельного Mercedes-Benz C220, немецкие ученые также пришли к выводу: электромобили в сегодняшней ситуации не помогут сократить выбросы CO<sub>2</sub>.

Ученые сопоставили соотношение выбросов CO<sub>2</sub> при производстве аккумуляторов и использовании электрокара с аналогичным показателем для машины с двигателем внутреннего сгорания.

В аналитическом отчете инжиниринговой компании Ricardo, занимающейся исследованиями и разработками в автомобильной промышленности, установлено, что производство одного легкового автомобиля в среднем вызывает выброс 5,6 тонны эквивалента CO<sub>2</sub> в атмосферу, а для электромобиля эта цифра в среднем составляет 8,8 тонны; почти половина приходится на процесс производства батарей [5].

Высокая стоимость электромобиля и его технического обслуживания также относится к недостаткам их использования. Стоимость бюджетного электромобиля варьируется от 27-35 тыс \$, что значительно превышает стоимость обычного авто. Новые Tesla Model S, Porsche Taycan стоят за 70.000 долларов, а самые простые модели вроде Fiat 500e или Nissan Leaf пусть и стоят на порядок дешевле, но имеют низкий запас хода, что делает их пригодными лишь для городских поездок. Увеличение объемов производства приводит к снижению стоимости электромобилей.

Новая АКБ для электромобилей Volkswagen нового семейства ID. (ID.3, ID.4, ID.5) стоит от 10 000 до 15 000 евро. Примерно такие же цены и у Mercedes. Аккумулятор для EQA стоит 15 209 евро, для EQS – 19 603 евро, а для EQV – 27 230 евро. Новый аккумулятор для Smart EQ fortwo и Smart EQ forfour стоит 6 538 евро. Цены на батареи Renault Zoe, Kangoo ZE и Twingo Electric составляют около 9 000 евро. Для автомобиля Twizy аккумулятор стоит около 4 000 евро [5].

Проблемы, возникающие при производстве и эксплуатации электромобилей будут постепенно устраняться благодаря активным исследованиям в этом направлении, которыми занимаются ведущие автоконцерны, производящие транспортные средства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Электрозависимость энергобудущего. Готова ли Беларусь к отказу от автомобилей с ДВС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belchemoil.by/news/tehnologii-i-trendy/elektrozavisimost-energobudushhego-gotova-li-belarus-k-otkazu-ot-avtomobilej-s-dvs?ysclid=leokw2dc38960633448>. – Дата доступа: 21.02.2023.
2. Электромобили (мировой рынок) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B8\\_\(%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9\\_%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA\)?ysclid=leol5ym4vg777084776](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B8_(%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA)?ysclid=leol5ym4vg777084776). – Дата доступа: 21.02.2023.
3. Министерство энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/press/glavnye-novosti/viktor-karankevich-chislo-elektromobiley-v-belarusi-uvlechilos-do-4-tys-/>. – Дата доступа: 22.02.2023.
4. Топ электромобилей с большим запасом хода – сколько может проехать «зелёное» авто на одном заряде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pikabu.ru/story/top\\_yelektromobiley\\_s\\_bolshim\\_zapasom\\_khoda\\_skolko\\_mozhet\\_proekhat\\_zelyonoe\\_avto\\_na\\_odnom\\_zaryade\\_8042271?ysclid=lehomtxz7o163923613](https://pikabu.ru/story/top_yelektromobiley_s_bolshim_zapasom_khoda_skolko_mozhet_proekhat_zelyonoe_avto_na_odnom_zaryade_8042271?ysclid=lehomtxz7o163923613). – Дата доступа: 22.02.2023.
5. Электромобили и их влияние на окружающую среду [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektromobili-i-ih-vliyanie-na-okruzhayushchuyu-sredu/viewer>. – Дата доступа: 22.02.2023.

# АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

## ANALYSIS OF POLLUTANT EMISSIONS FROM STATIONARY AND MOBILE SOURCES INTO ATMOSPHERIC AIR IN THE REPUBLIC OF BELARUS

**К. М. Мукина<sup>1,2</sup>, М. Л. Синуцкая<sup>1,2</sup>**

**K. M. Mukina<sup>1,2</sup>, M. L. Sinitskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
kem@iseu.by, marinanelp@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В данной статье представлен анализ данных Национального статистического комитета Республики Беларусь по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух за период 2000–2021 годы. В ходе работы были рассчитаны процентные изменения выбросов и темпы роста или снижения. Представлена сравнительная характеристика выбросов от стационарных и мобильных источников. На основе полученных данных был определен долевым состав выбросов в 2021 году.

This article presents an analysis of the data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus on emissions of pollutants into the atmospheric air for the period 2000–2021. In the course of the work, the percentage changes in emissions and the growth or decline rates are calculated. A comparison of emissions from stationary and mobile sources is presented. Based on the data obtained, the share of emissions in 2021 is determined.

**Ключевые слова:** загрязнение воздуха, выбросы, мобильные источники, стационарные источники, антропогенное загрязнение.

**Keywords:** air pollution, emissions, mobile sources, stationary sources, anthropogenic pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-95-98>

В работе проведен анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за период 2000–2021 годы. Анализ основывается на данных Национального статистического комитета Республики Беларусь по стационарным и мобильным источникам выбросов.

За последние десятилетия в Республике Беларусь значительно снизилась масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Так в 2000 году количество выбросов уменьшилось на 40 % в сравнении с 1995 годом и на 60% – с 1990-ым [1].

Для анализа выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух построен график выбросов от стационарных и мобильных источников и их суммарный выброс за период 2000–2021 годы, представленный на рисунке 1. За анализируемый период выбросы от стационарных источников составляют 371,1–464,9 тыс. т, от мобильных источников 721–1200,6 тыс. т. Суммарный выброс изменялся от 1171,8 до 1597,6 тыс. т. Из данных видно, что основную долю загрязняющих веществ составляют выбросы от мобильных источников от 61,5 % до 75,1 %, тогда как от стационарных источников выбросы составляют от 24,9 % до 38,5 %. Следовательно ход суммарных выбросов загрязняющих веществ определяется ходом изменения выбросов от мобильных источников.

На протяжении всего периода отношение массы выбросов от мобильных источников к стационарным неодинаково, так в 2000–2005 годах этот показатель изменялся в пределах 2,3–2,5 раз. Далее идет рост количества выбросов от мобильных источников, и в 2008-ом году превышение достигло 3 раз. В последующие годы наблюдается снижение этого показателя до 1,5 раз к 2021 году в результате снижения выбросов от мобильных источников. Все эти изменения связаны с колебанием количества выбросов от мобильных источников, поскольку количество от стационарных источников практически не изменяется за этот период. В 2021 году выбросы от стационарных источников увеличились на 20 % по сравнению с 2000 годом, от мобильных снизились на 24 %.

Следует предположить, что рост выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников в мире, в том числе Евросоюзе и Республике Беларусь, поставил задачу разработать новые меры регулирования и нормирования транспорта. Так в 2003 году Евросоюзом были внедрены нормы Евро-3, в 2005 году Евро-4, в 2009 году Евро-5 и в 2014 Евро-6. Каждый последующий стандарт ужесточает допустимую концентрацию загрязняющих

веществ в выбросах выхлопных газов автотранспорта, а также нормирует качество топлива. С 1 января 2015 года вступил в силу техрегламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011), в котором оговаривается, что ввоз на территорию Евразийского экономического союза допускаются только автомобили не ранее 2007 года выпуска и экологическим классом не менее Евро-4 [2]. Вследствие этого предприятиями машиностроения Республики Беларусь были также приняты эти нормы. Увеличение в Республике Беларусь машин с класса Евро-4 и Евро-5 способствовало снижению выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников.

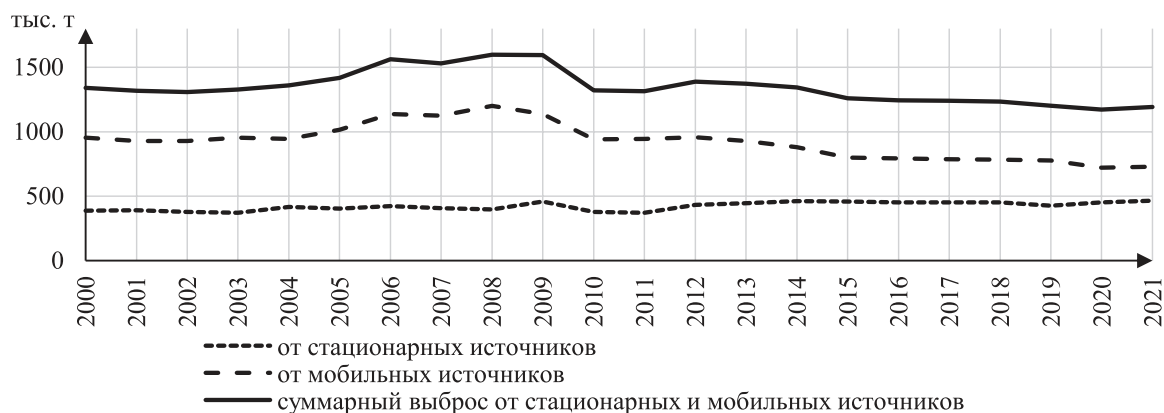


Рисунок 1 – Выбросы загрязняющих веществ от стационарных и мобильных источников и их суммарный выброс за период 2000–2021 годы

При анализе графика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (сплошная линия на рисунке 1) в промежутке 2000-2009 годы наблюдается рост количества выбросов: за 2009 год увеличение составило 19 % по сравнению с 2000 годом. Затем в 2011 наблюдается снижение до уровня 2001 года, что обусловлено снижением доли мазута в качестве используемого сжигаемого топлива в 2010 году. В период 2012-2021 годы сохраняется тенденция уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. В 2021 году выбросы сократились на 11 % по сравнению с 2000 годом, темп снижения составляет 0,5 %. Уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в эти годы обусловлено эффективным правовым регулированием в области охраны окружающей среды и проведением природоохранных мероприятий.

Для идентификации долевого состава выбросов в атмосферный воздух был проведен анализ основных загрязняющих веществ: диоксида серы, диоксида азота, оксида углерода, углеводородов (включая неметановые летучие органические соединения), общих взвешенных частиц (ОВЧ). На рисунке 2 представлены графики выбросов диоксида серы от стационарных (сплошная линия) и мобильных (пунктирная линия) источников.



Рисунок 2 – Выбросы диоксида серы в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников

Из графика следует что выбросы от мобильных источников начиная с 2003 года имеют тенденцию снижения, и в 2021 году по данным статистики они составили 0,0 тыс. т. Большая часть выбросов диоксида серы приходится на стационарные источники. Их количество имеет устойчивую тенденцию снижения в течении всего периода за исключением 2009 года, когда масса выбросов возросла более чем в 2 раза и составила 139,5 тыс. т. Такой скачек выбросов диоксида серы обуславливается использованием мазута в качестве основного топлива на теплоэлектростанциях в отопительный период 2009 года [3]. В целом с 2000 по 2021 годы выбросы диоксида серы в атмосферный воздух от стационарных источников сократились на 59 %, темп снижения составил 3 %, от мобильных источников на 99,7 %, темп снижения – 5 %.

На рисунке 3 представлен график выбросов диоксида азота от стационарных (сплошная линия) и мобильных (пунктирная линия) источников.

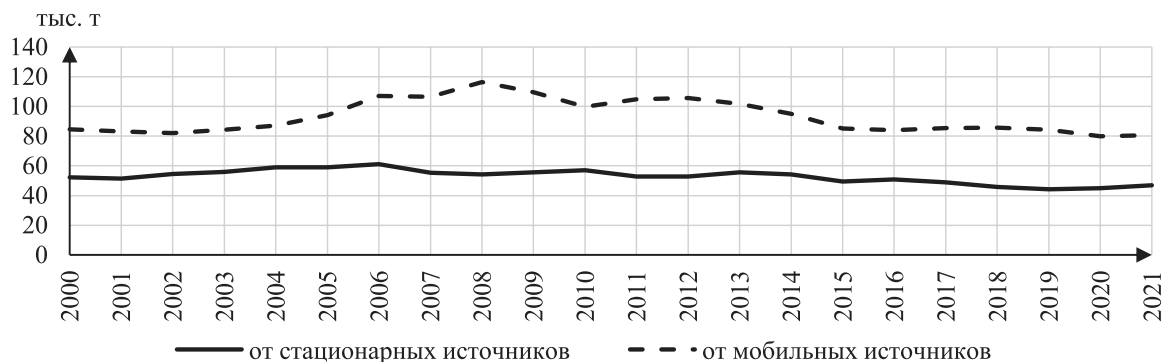


Рисунок 3 – Выбросы диоксида азота в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников

Выбросов диоксида азота от мобильных источников больше, чем от стационарных в два раза. Рост массы выбросов наблюдался от стационарных источников до 2006 года и от мобильных источников до 2008 года, а затем происходит их постепенное снижение. В 2021 году масса выбросов от стационарных источников уменьшилась на 10 %, а от мобильных на 4,8 % по сравнению с 2000 годом. Темп снижения выбросов диоксида азота от стационарных источников за период с 2006 по 2021 годы составил 1,5 %, от мобильных источников за период с 2008 по 2021 годы – 2,4 %.

На рисунке 4 представлен график выбросов оксида углерода от стационарных (сплошная линия) и мобильных (пунктирная линия) источников. Выбросы оксида углерода от мобильных источников превышают от стационарных в 6 раз. До 2008 года наблюдался рост количества выбросов, а затем происходит их плавное снижение. Таким образом, в 2021 году масса выбросов оксида углерода уменьшилась на 25 % по отношению к 2000 году, темп снижения составил 1,3 %. Выбросы оксида углерода от стационарных источников за этот период изменялись незначительно, и на 2021 год они снизились на 12% по отношению к 2000 году, темп снижения составил 0,6 %.

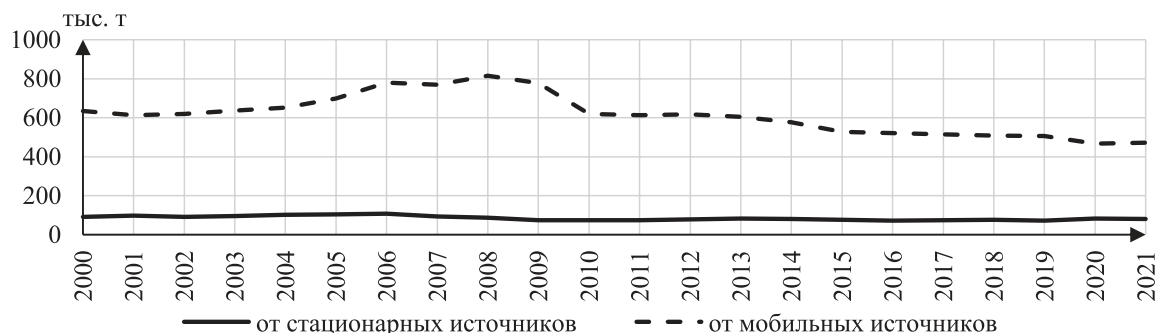


Рисунок 4 – Выбросы оксида углерода в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников

На рисунке 5 представлен график выбросов углеводородов (включая неметановые летучие органические соединения) от стационарных (сплошная линия) и мобильных (пунктирная линия) источников.

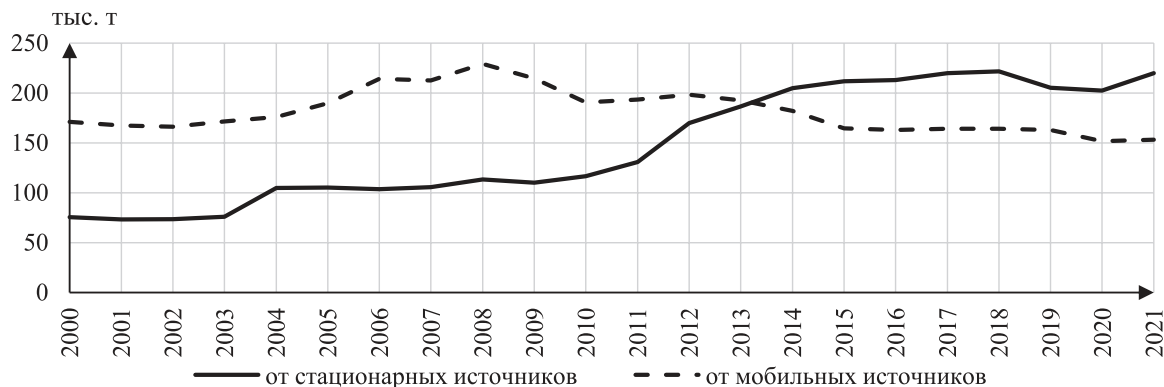


Рисунок 5 – Выбросы углеводородов в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников

Выбросы углеводородов от мобильных источников подобна выбросам оксида углерода. До 2008 года количество выбросов повышается, а затем постепенно снижается. В 2021 году уменьшение выбросов составило 10 % по сравнению с 2000 годом. Темп снижения выбросов от мобильных источников составил 0,5 %. Основным источником выбросов углеводородов являются предприятия по производству нефтепродуктов, вследствие увеличения объема выпуска продукции за рассматриваемый период, наблюдается увеличение выбросов углеводородов



от стационарных источников. В тоже время в период 2014-2021 годы наблюдается их стабилизация, и составляет в среднем 212,3 тыс. т в год.

На рисунке 6 представлены графики выбросов ОВЧ от стационарных (сплошная линия) и мобильных (пунктирная линия) источников. В 2000 году выбросы ОВЧ от стационарных источников превышали мобильные практически в 2 раза, в 2021 году это различие снизилось и составило 1,1. Анализ хода выбросов за рассматриваемый период от стационарных и мобильных источников показал рост выбросов до 2008 года, а в последующем их снижение. За 2000-2021 годы выбросы от стационарных и мобильных источников снизились соответственно на 43,3% и 15,5%, темп снижения составил 2,2 % и 0,8 %.

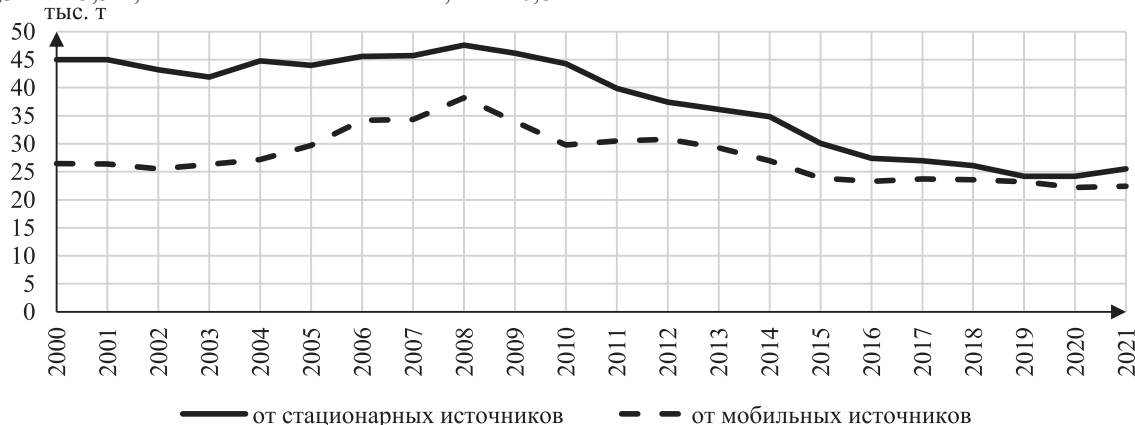


Рисунок 6 – Выбросы ОВЧ в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников

Из полученных результатов следует, что основными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух являются мобильные источники выбросов. Состав выбросов от мобильных источников за 2021 год в процентном отношении представляет: оксид углерода 65 %, углеводороды 21%, диоксид азота 11%, диоксид серы 0%, ОВЧ 3%. Выбросов от стационарных источников за 2021 год в процентном отношении составляют: углеводороды 53 %, оксид углерода 19%, диоксид азота и серы по 11%, ОВЧ 6%. Таким образом, процентный состав загрязняющих веществ от суммарных выбросов за 2021 год составил оксид углерода 48 %, углеводороды 33 %, диоксид азота 11 %, диоксид серы и ОВЧ по 4%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/a-zagryaznenie-atmosfernogo-vozduha-i-razrushenie-ozonovogo-sloya/a-1-vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfernyi-vozduh/>. – Дата доступа: 15.02.2023.
2. О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением : ТР ТС 018/2011: принят 09.12.2011; вступ. в силу 01.01.2015 / Евраз. экон. комис. – Москва : ЦЕНТРМАГ, 2023. – 440 с.
3. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2009 / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь ; редкол.: С. И. Кузмин. – Минск : Белорус. науч.-исслед. центр «Экология», 2010. – 344 с.

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТАНОВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА СРЕДЫ ПРИ МНОГОФАКТОРНОМ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO ESTABLISHING THE ECOLOGICAL STATUS OF THE ENVIRONMENT UNDER MULTI-FACTORY MAN-MADE IMPACT

**О. В. Лозинская<sup>1,2</sup>, Т. П. Сергеева<sup>1,2</sup>, Е. Т. Тумова<sup>3</sup>**

**O. V. Lozinskaya<sup>1,2</sup>, T. P. Sergeeva<sup>1,2</sup>, E. T. Titova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь [aromia@rambler.ru](mailto:aromia@rambler.ru)

<sup>3</sup>Исполнительная дирекция Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, ИД БРФФИ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Executive Directorate The Belorussian Republican Foundation For Fundamental Research, ED BRFFR, Minsk, Republic of Belarus

Экологический статус территорий при современном уровне технического прогресса и мощного антропогенного воздействия является ключевой характеристикой природных экосистем, как наиболее точно отражающий степень влияния. В условиях многофакторного воздействия, приводящего к глубокому преобразованию природных экосистем, вопрос о методах и способах экологической оценки трансформированных территорий приобретает особую значимость. Признанный приоритетным биоиндикационный метод обладает возможностью вычленить влияние одного фактора и по отклонению организма от нормального развития судить о степени опасности отдельного фактора.

The ecological status of territories at the current level of technological progress and strong anthropogenic impact is a key characteristic of natural ecosystems, as it most accurately reflects the degree of impact. In conditions of multifactorial impact leading to a profound transformation of natural ecosystems, the question of methods and ways of ecological assessment of transformed territories is of particular importance. The bioindication method, recognized as priority one, has the ability to define the influence of one factor and assess the degree of danger of a separate factor according to the deviation of an organism from normal development.

**Ключевые слова:** фитоиндикаторы, тест-системы, Allium cepa, многофакторное воздействие.

**Keywords:** phytoindicators, test systems, reserved areas, Allium cepa, multifactorial impact.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-99-102>

Работа включает материалы, полученные в рамках выполнения задания Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограмма 10.3 «Радиация и биологические системы»

Темпы развития инновационных технологий и промышленности в мировом масштабе, техногенные и природные катастрофы привели к глобальному преобразованию и загрязнению, вплоть до радиационного, большого числа территорий. В конечном счете, это сказалось в нарушении равновесия естественных и трансформированных экосистем, а также повлияло на условия существования живых организмов, включая человека, и экологическую ситуацию в целом.

Во всех странах отдельное внимание в ряду известных техногенных факторов уделяется системе мониторинга радиационной обстановки в зоне действия АЭС, базирующейся на методах физико-химического и биологического контроля. Причем, приоритетным остается биоиндикационный метод [1] благодаря способности многих видов растений и животных чутко реагировать на морфологическом и генетическом уровне на происходящие изменения, в силу чего они признаны надежными биоиндикационными объектами в экологических исследованиях [2]. В отдельных же случаях биологический контроль является ведущим методом оценки среды обитания.

Значимость биологического контроля заключается в том, что он выявляет как совокупное воздействие факторов (естественных и техногенных) на живые организмы по показателям их состояния, так и отдельное, в том числе и воздействие факторов, опасных для организмов.

Антропогенная нагрузка на территории Беларуси в виде широкомасштабной осушительной мелиорации, влияния объектов легкой и тяжелой промышленности, сети автомагистралей, что усугубляется аварией на

Чернобыльской АЭС, в сочетании с аномальными климатическими изменениями ведет к трансформации естественных биогеоценозов и соответственно – к преобразованию флоры и фауны.

Для осуществления программы устойчивого развития необходимы мероприятия по осуществлению экологического мониторинга и сохранению природных ресурсов, в том числе естественных земель, для чего необходимы методы наблюдения и оценки измененных территорий.

Наличие у некоторых представителей растительного и животного мира высокой численности, широкого распространения, полиморфизма у некоторых таксономических групп, а также ответных реакций организма на генетическом уровне позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов.

Наряду с интегральной оценкой качества среды интерес представляют сведения об отклонениях растительных и животных организмов-биоиндикаторов от нормального развития, обусловленного одним фактором, по их тест-критериям, в качестве которых могут служить ответные реакции в виде морфометрических изменений и цитогенетических нарушений.

Для оценки состояния среды в условиях действия разнотипных негативных факторов, в частности, солей тяжелых металлов, достаточно надежным и экономически оправданным методом является фитоиндикаторный [2].

Анализ литературы по данной проблеме (как отечественной, так и зарубежной) показал, что использование растений в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды вполне оправдано в результате их способности реагировать на всех уровнях на неблагоприятные факторы среды [3].

Следует отметить, что наиболее информативным является цитогенетический анализ, позволяющий не только определить все виды хромосомных и хроматидных нарушений с высокой точностью, но и из всего спектра факторов вычленил один – наиболее опасный, как, например, загрязнение тяжелыми металлами и радионуклидами [4].

Самым приемлемым методом лабораторных исследований по выявлению какого-либо одного фактора влияния окружающей среды для получения достоверных результатов, сопоставимых с другими тест-системами, является *Allium*-тест [5]. Наличие микроядер в клетках корешков *Allium cepa* для оценки мутагенного действия поллютантов является эффективным индикатором прямого воздействия на ДНК, что свидетельствует о результативности этого биотеста. В литературе также отмечено, что частота хромосомных aberrаций объясняет механизм действия тестируемых агентов на ДНК [6].

Материалом являлись образцы почв из всех реперных точек, расположенных в естественной (Березинский биосферный заповедник) и техногенно измененной (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник) среде, а также вблизи БелАЭС, корневая меристема фитоиндикатора – лука репчатого (*Allium cepa*), выращенного на водных вытяжках почв исследуемых территорий, различающихся уровнем загрязнения некоторыми химическими элементами (свинец, кадмий, ртуть, медь, цинк и др.) и радионуклидами.

Отбор почвенных проб проводили в июне–августе.

Для определения содержания радионуклидов в образцах почв проведены спектрометрические исследования проб почв Полесского государственного радиационного заповедника, Белорусской АЭС и Березинского биосферного заповедника на содержание радионуклидов с использованием гамма-бета спектрометра МКС АТ 1315.

Отбор проб и их подготовка для определения удельной активности в образцах осуществлялись согласно ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89, ТКП 17.13-14-2021 и методикам к приборам для спектрометрического и радиометрического анализа образцов.

Измерения почвенных проб проводились методом регистрации гамма- и бета-излучения сцинтилляционными блоками детектирования на сцинтилляционном гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315 согласно методике МВИ. МН 1181-2011.

Измерение удельной активности (УА) радионуклидов в пробах проводилось в плоском сосуде объемом 0,5 литра. Время измерения составляло 10800 секунд. Результатом регистрации гамма- и бета-излучения в исследуемой пробе являлись аппаратные спектры. Расчет активности осуществлялся путем обработки спектров методом максимального правдоподобия.

В результате анализа данных, полученных в лабораторном эксперименте с фитоиндикатором – *Allium cepa* по стандартной методике, установлена степень влияния цитотоксичности почв из разных экологических кластеров на величину энергии прорастания, митотического индекса и патологий митоза корневой меристемы. Семена репчатого лука (сорт Штутгартен Ризен) проращивали в чашках Петри на исследуемых водных вытяжках. Для анализа отбирали проростки с корешками длиной 1,5–2,0 см. В корневой меристеме проростков лука репчатого определяли митотический индекс как процент делящихся от общего количества наблюдаемых клеток. Для окрашивания проростки помещались на сутки в 2–3% раствор ацетокармина. По истечении этого времени у проростков отсекались кончики корешков (1–2 мм), из которых готовились давленные препараты по общепринятой методике. Митотический индекс рассчитывали по формуле:

$$MI = \frac{\Sigma (P+M+A+T)}{\Sigma (P+M+A+T+I)} * 100,$$

где в числителе – сумма профаз (P), метафаз (M), анафаз (A) и телофаз (T) (число делящихся клеток), в знаменателе – сумма делящихся и неделящихся клеток (I – число клеток, находящихся в интерфазе).

Статистическую обработку данных исследования проводили с использованием электронных таблиц Microsoft Office Excel.

Результаты сравнительного анализа содержания радионуклидов в почвах трех территориальных кластеров (Березинского заповедника, окрестностей Белорусской АЭС и зоны отчуждения ЧАЭС) представлены в таблице 1 и отражают существенные различия этих территорий.

Таблица 1

*Результаты радиометрического анализа проб образцов окружающей среды (июль-август 2022 г.)*

| № | Место отбора проб       | УА Cs-137, Бк/кг | УА K-40, Бк/кг |
|---|-------------------------|------------------|----------------|
| 1 | ББЗ                     | 13,8 ± 4,88      | 518 ± 105      |
| 2 | Бел АЭС                 | 14,4 ± 3,67      | 563 ± 153      |
| 3 | Зона отчуждения (ПГРЭЗ) | 5522,3 ± 1,56    | 491,65 ± 3,85  |

Как видно из таблицы, удельная активность радионуклидов в исследуемых пробах Березинского заповедника и окрестностей БелАЭС соответствует фоновым уровням.

Полученные в лабораторном эксперименте цитогенетические показатели фитоиндикатора – лука репчатого: митотический индекс (МИ) и частота хромосомных aberrаций (ЧА) явились индикаторами степени загрязнения почв радионуклидами.

**Митотический индекс.** Рисунок 1 иллюстрирует пролиферативную активность корневой меристемы. Показано, что для корневой меристемы, пророщенной на почвах Березинского заповедника и зоны отчуждения, наблюдается слабая пролиферативная активность клеток корневой меристемы в результате элементного дисбаланса, выражающегося в превышении ПДК тяжелых металлов и радионуклидов (территория зоны отчуждения) и снижении содержания некоторых эссенциальных микроэлементов (Березинский заповедник).

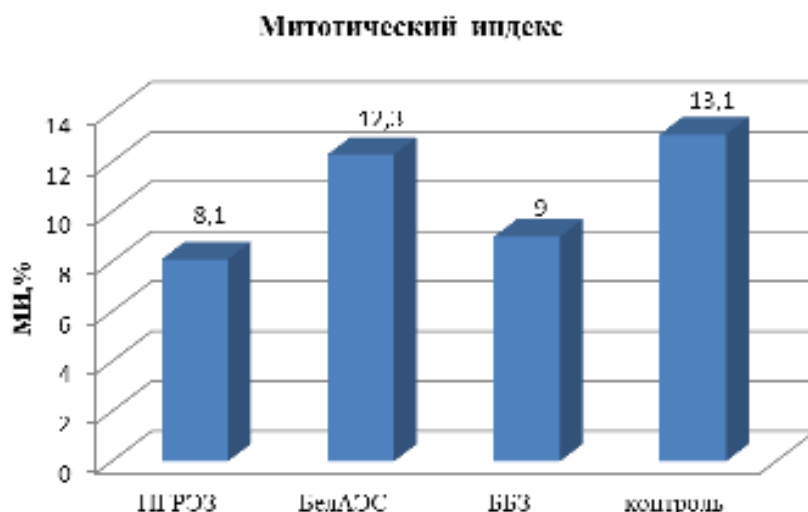


Рисунок 1 – Величина митотического индекса для клеток меристемы *Allium cepa*

Как видно из рисунка высокий митотический индекс зафиксирован для корневой меристемы, выращенной на почвенных вытяжках Бел АЭС. Здесь значение МИ приближено к контролю (водопроводная вода), что свидетельствует об экологическом благополучии среды, а не значительное снижение митотического индекса в ББЗ объяснимо типом почв (песчаные), определяющими дисбаланс химических элементов.

#### **Цитогенетические показатели *Allium cepa*.**

**Березинский биосферный заповедник.** Данные, полученные в лабораторном эксперименте по выявлению цитогенетических aberrаций в клетках корневой меристемы лука, выращенного на вытяжках образцов почв Березинского заповедника, показали невысокую частоту встречаемости патологий митоза (о чем можно судить по незначительному количеству aberrантных клеток от 1 до 6). Анализ выявленных нарушений в клетках *Allium cepa* показал, что в течение всего периода исследования были обнаружены некоторые хромосомные aberrации.

**Белорусская АЭС.** Как показали исследования, почвенные пробы на территории Бел АЭС практически не обладают мутагенной активностью, что подтверждается небольшим числом aberrаций в клетках лука.

**Зона отчуждения.** Анализ наблюдаемых нарушений митоза в зоне отчуждения позволил установить, что с усилением антропогенной нагрузки наблюдалась тенденция изменения разнообразия и числа хромосомных aberrаций в сторону их увеличения.

На рисунке 2 отражена тенденция изменения хромосомных aberrаций с усилением антропогенной нагрузки: увеличение их числа и разнообразия.



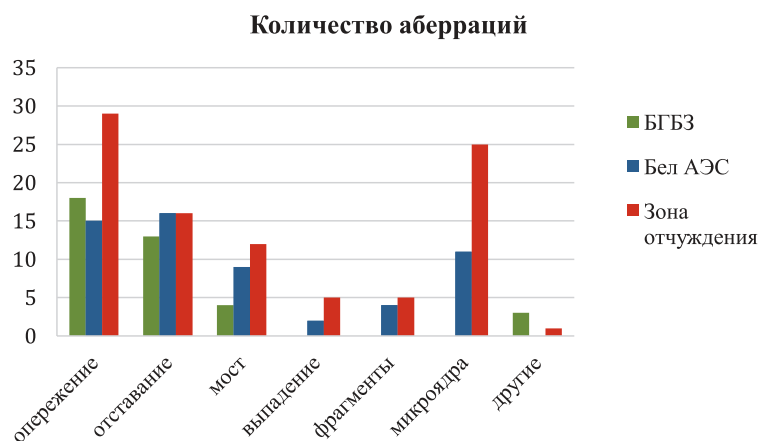


*Рисунок 2 – Количество aberrаций в клетках корневой меристемы лука репчатого при прорастании на вытяжках почв территорий с различной антропогенной нагрузкой*

Как следует из рисунка, наибольшее число aberrаций отмечено в клетках корневой меристемы лука из растений, проросших на почвенных образцах территории зоны отчуждения. Показано, что для почв территорий с радиационным загрязнением характерно повышение таких нарушений как опережение хромосом, что в дальнейшем приводит к образованию микроядер, свидетельствующих о неблагоприятных нарушениях на клеточном уровне организма.

Спектр патологических митозов при учете aberrаций на стадии ана-телофазы в клетках лука представлен основными типами цитогенетических нарушений – отставания и опережения хромосом, хромосомные и хроматидные мосты, одиночные и парные фрагменты; также встречались смешанные аномалии (характерны для почв территории зоны отчуждения).

Использование *Allium*-теста позволило проследить влияние на организм одного из множества факторов – загрязнения радиоактивными элементами, а также установить зависимость протекания стадий митоза и выявленных патологий (повышение количества хромосомных aberrаций) от влияния химических элементов и радионуклидов, присутствующих в почвах одного из трех территориальных кластеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Выходцева, И. С. Биоиндикация как метод оценки окружающей среды: актуальность и перспективы исследования / И. С. Выходцева, Т. А. Рыхлова // Вестн. ландшафт. архитектуры. – 2015. – № 6. – С. 44–47.
2. Неверова, О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82–92.
3. Бухарина, И. Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И. Л. Бухарина, Т. М. Поварничина, К. Е. Ведерников ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Ижев. гос. с.-х. акад. – Ижевск : Ижев. ГСХА, 2007. – 216 с.
4. Вострикова, Т. В. Цитозоологическое изучение березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях техногенной нагрузки / Т. В. Вострикова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Химия. Биология. Фармация. – 2009. – № 2. – С. 92–98.
5. Применение *Allium* сера эффектов при генетическом мониторинге техногенных территорий / Э. А. Агаджанян [и др.] // Проблемы и мониторинг природных экосистем : Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 17–18 окт. 2014 г. : сб. ст. / Пенз. гос. с.-х. акад. – Пенза, 2014. – С. 11–14.
6. Action mechanisms of petroleum hydrocarbons present in waters impacted by an oil spill on the genetic material of *Allium* cepa root cells / D. M. Leme [et al.] // Aquatic Toxicology. – 2008. – Vol. 88. – P. 214–218.

# ВЛИЯНИЕ ACER NEGUNDO НА ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ В ДОЛИНЕ РЕКИ ПИНА

## INFLUENCE OF ACER NEGUNDO ON THE FLORAL COMPOSITION OF THE LIVING GROUND COVER OF FOREST COMMUNITIES IN THE PINA RIVER VALLEY

**М. Н. Яхновец<sup>1,2</sup>, Л. М. Мерзвинский<sup>3</sup>**

**M. N. Yakhnovets<sup>1,2</sup>, L. M. Merzhvinski<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
maksim.yakhnovets@gmail.com

<sup>2</sup>Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь  
maksim.yakhnovets@gmail.com

<sup>3</sup>Витебский государственный университет имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь  
leonardm@tut.by

<sup>1</sup>International State Ecological Institute named after A. D. Sakharov of Belarusian State University, Minsk;

<sup>2</sup>Polessky State University, Pinsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Vitebsk State University named after P. M. Masharov, Vitebsk, Republic of Belarus

Клен ясенелистный является законодательно признанным древесным инвазионным интродуцентом. В данной работе с помощью кластерного анализа и индекса Шеннона выявлена зависимость видового состава живого напочвенного покрова от проективного покрытия клена ясенелистного. Сделан вывод, что клен ясенелистный обладает аллелопатическими свойствами в отношении растущих вблизи него растений, воздействуя на них через фитогенное поле, тем самым трансформируя флористический состав живого напочвенного покрова долинно-речных лесов. Это говорит о необходимости принятия мер по ограничению численности и распространения данного вида в приречных лесных фитоценозах.

The ash-leaved maple is a legally recognized arboreal invasive introducent. In this work, using cluster analysis and Shannon index, we revealed the dependence of the species composition of the living ground cover on the projective cover of the ash-leaved maple. It is concluded that the ash-leaved maple has allelopathic properties in relation to plants growing near it, influencing them through a phytogenic field, thereby transforming the floristic composition of the living ground cover of valley-river forests. This indicates the need to take measures to limit the abundance and distribution of this species in riverine forest phytocenoses.

**Ключевые слова:** клен ясенелистный, постоянная пробная площадь, обилие по Друде, кластерный анализ, индекс Шеннона.

**Keywords:** ash-leaved maple, constant sample area, Drude abundance, cluster analysis, Shannon index.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-103-108>

**Введение.** Актуальность исследований клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) обусловлена необходимостью изучения биологии инвазионных видов растений. Инвазия, или массовое распространение отдельных чужеродных видов растений в экосистемах – это одна из глобальных экологических проблем современности. Клен ясенелистный законодательно признан в РБ видом, запрещенным к интродукции и (или) акклиматизации (в соответствии с Постановлением Минприроды РБ № 35 от 28.10.2016 г. и Постановлением Совета Министров РБ № 1002 от 07.12.2016 г.). *A. negundo* является одним из активно распространяющихся древесных интродуцентов. Это листопадное дерево семейства *Sapindaceae*, которое происходит из Северной Америки. Вид появился в Беларуси в XIX веке, стал активно использоваться в культуре. Во второй половине XX века начал активно дичать и проявлять признаки инвазии. На данный момент *A. negundo* часто встречается по всей территории Беларуси. В Государственном кадастре растительного мира учтено 4271 место его произрастания на общей площади 351 га. Вид относится к быстрорастущим деревьям, активно распространяется спонтанно через самосев. В Беларуси *A. negundo* в особенности натурализовался в полуестественные лесные и опушечные сообщества. Наибольшую угрозу представляет для прибрежно-водных и пойменных естественных растительных сообществ [1]. Растение обладает сильными аллелопатическими свойствами, характеризуется значительной силой воздействия на окружающие растения через фитогенное поле и высокими темпами накопления фитомассы за один вегетационный сезон. Целью данного исследования является определение эффекта распространения клена ясенелистного в долинно-речных лесах на основе оценки состояния флористического состава живого напочвенного покрова сообществ. Исследования клена ясенелистного вносят вклад в разрешение вопроса инвазии этого вида

и пополняют знания в данной области как относительно клена, так относительно других видов и инвазионной биологии в целом.

### Материалы и методы.

**Метод ППП.** Создание ППП (постоянных пробных площадей) с последующим проведением на них длительных комплексных исследований – хорошо известный и надежный метод наблюдений, который позволяет получить разностороннюю достоверную информацию [2]. Для исследования инвазии клена ясенелистного были заложены ППП, которые подбирались в лесных приречных фитоценозах в долине реки Пины в пригороде г. Пинска Брестской области. Были выбраны прямоугольные площадки (15 x 27 м) площадью около 400 . Границы площадок привязывались к определенным ориентирам – дорожкам, деревьям, группам деревьев, которые помечались разноцветными нитками. Границы площадок привязывались к сторонам света с помощью буссоли. Для этого использовались кольшки с намотанными на них нитками, которые устанавливались возле ориентиров. С помощью кольшек и буссоли можно определить точные границы площадки. Измерения границ площадок производились при помощи длинной рулетки.

**Флористический метод.** Это метод определения видового состава растительности. Для определения видов использовались определители растений, временные гербарии и фотоматериалы.

**Лесотаксационные методы.** Это методы описания лесных сообществ. В данной работе использовались следующие лесотаксационные методы: сплошной пересчет деревьев и определение таксационных показателей сообществ (возраст, бонитет, полнота). В целях определения таксационных показателей пробных сообществ использовались высотомер, возрастной бурав, лесотаксационные таблицы.

**Метод определения обилия видов по Друде.** Это геоботанический метод, который используется для изучения проективного покрытия. Проективное покрытие – процент площади, занятой проекциями надземных частей растений (за вычетом просветов между листьями и ветвями) к общей площади, на которой оно определяется. В данной работе использовалась 6-балльная шкала Друде, описанная Л. Г. Раменским. Обилие видов по Друде является частью определения косвенного влияния фитогенного поля растений.

Для ландшафтного наглядного описания растительности достаточно различения немногих широких категорий обилия, легко схватываемых на глаз. Обозначая эти категории условными баллами, отметками Друде и градациями проективного обилия, получаем следующую шкалу:

**Балл 6:** по Друде – сос., проективное обилие и выше, не менее 25% площади учета. Растение занимает большую часть площади и безраздельно господствует, образуя фон, в который вкраплены все прочие виды группировки.

**Балл 5:** по Друде – высшие степени сор., проективное обилие , около 10 – 25 % площади. Входят в группу 2–5 растений, образующих фон и слагающих основную массу растительного покрова.

**Балл 4:** по Друде – низшие степени сор., проективное обилие с, около 3–7 % площади. Встречается в виде нескольких (большой частью немногих) растений, образующих массовую примесь к фоновым, заметную как по площади проекции, так обычно и по весу (около 1–5 % общего веса урожая).

**Балл 3:** по Друде – ср., проективное обилие п, около 0,5–2 % площади. Встречается в виде нескольких, часто многих видов, густо расположенных, растущих на каждом клочке территории, но во то же время составляющих ничтожно малую часть урожая (<1 %) и с низким проективным обилием (не выше 1–2 %).

**Балл 2:** по Друде – сол., проективное обилие р, менее 0,2 %, единично вкраплены в фон растительности там и тут.

**Балл 1:** по Друде – г и s, редкие растения – одно или несколько на обширную площадь.

Согласно А.А. Уранова, оценки обилий по Друде у разных наблюдателей отличаются несильно [3].

**Статистический метод.** К статистическим методам, примененным в данном исследовании, относятся кластерный анализ и индекс Шеннона.

**Кластерный анализ** (от англ. cluster analysis) – многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы. Кластерный анализ производился в программе Statistica 6.0.

**Индекс разнообразия** – безразмерный показатель, применяемый в биологии для определения степени равномерности распределения признаков объектов выборки. Индекс разнообразия имеет смысл использовать исключительно для оценки инвентаризационного разнообразия, то есть разнообразия внутри объекта. Первой мерой разнообразия, использованной в биологии, был индекс Шеннона [4]. Величина индекса Шеннона в среднем колеблется от 1,5 до 3,5 и очень редко превышает 4,5.

**Результаты и их обсуждение.** Для исследования в долинно-речных лесных сообществах было заложено 5 ППП. Площадки были подобраны с разной долей участия клена ясенелистного в них. На ППП №1 содержится максимальное количество особей клена ясенелистного. ППП №3 характеризует отсутствие взрослых особей данного вида. *A. negundo* представлен здесь ювенильными особями, что говорит о последующей инвазии клена также и в этом фитоценозе. Кроме этого, были заложены 3 ППП, которые по содержанию на них клена можно назвать промежуточными. Если рассматривать их в порядке убывания по количеству особей *A. negundo*, то получится следующий ряд: ППП №2, ППП №4, ППП №5.

Сравнительная характеристика пробных сообществ представлена в таблице 1.

Таблица 1

## Сравнительная характеристика ППП

| Показатель                          | ППП № 1                                                      | ППП № 2 | ППП № 3 | ППП № 4 | ППП № 5 | Все ППП |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Почвы                               | аллювиальные (пойменные) торфяно-болотные                    |         |         |         |         |         |
| Урочища и фации                     | однотипные                                                   |         |         |         |         |         |
| Ассоциация                          | ивняк ежевичный ( <i>Salix alba</i> + <i>Rubus caesius</i> ) |         |         |         |         |         |
| Состав древостоя (по количеству)    | 9К 1И                                                        | 8К 2И   | 10И     | 5К 5И   | 6К 4И   | 6К 4И   |
| Состав древостоя (по запасу)        | 8И 2К                                                        | 8И 2К   | 10И     | 9И 1К   | 10И+К   | 9И 1К   |
| Средний возраст ивы белой           | 28                                                           | 27      | 12      | 12      | 38      | 23      |
| Средний возраст клена ясенелистного | 4                                                            | 5       | —       | 5       | 3       | 4       |
| Полнота                             | 0,8                                                          | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     |
| Бонитет                             | IV                                                           | IV      | II      | III     | IV      | III     |

Для сравнения пробных сообществ на предмет влияния *A. negundo* на живой напочвенный покров определялись растения, входящие в его состав. Количество видов живого напочвенного покрова по площадкам представлено на рисунке 1.

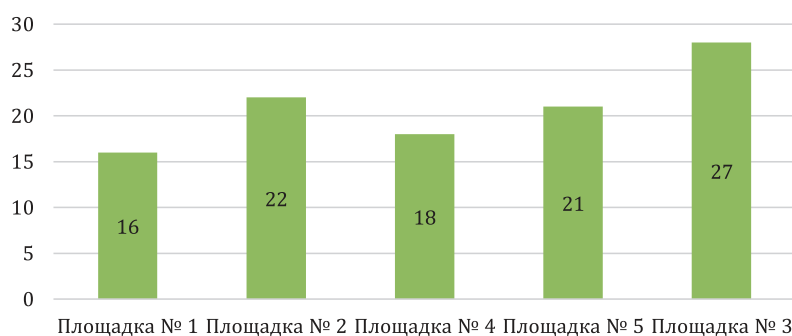


Рисунок 1 – Количество видов растений живого напочвенного покрова по площадкам, шт.

По рисунку 1 видно, что ППП №1 с наибольшей концентрацией клена ясенелистного имеет наименьшее количество видов растений в живом напочвенном покрове, тогда как максимальное их количество содержится на площадке с отсутствием взрослых особей *A. negundo* – на ППП №3.

Флористический состав живого напочвенного покрова оценивался с помощью метода обилия видов по Друде. При исследовании было выявлено 46 видов живого напочвенного покрова. В таблице 2 представлен перечень растений живого напочвенного покрова и оценка обилия каждого вида по данной шкале.

Таблица 2

## Обилие видов по Друде

| № п/п | Вид                                | Количество ППП, где встречается вид | ППП № 1 | ППП № 2 | ППП № 3 | ППП № 4 | ППП № 5 |
|-------|------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1     | <i>Rubus caesius</i>               | 5                                   | 6       | 6       | 6       | 6       | 6       |
| 2     | <i>Urtica dioica</i>               | 5                                   | 6       | 5       | 2       | 6       | 2       |
| 3     | <i>Calystegia sepium</i>           | 5                                   | 4       | 2       | 5       | 3       | 3       |
| 4     | <i>Carex acutiformis</i>           | 5                                   | 2       | 6       | 6       | 5       | 3       |
| 5     | <i>Acer negundo</i> (ювен.)        | 5                                   | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       |
| 6     | <i>Lysimachia vulgaris</i>         | 5                                   | 2       | 1       | 2       | 2       | 2       |
| 7     | <i>Phragmites australis</i>        | 4                                   | 4       | —       | 5       | 5       | 4       |
| 8     | <i>Galium aparine</i>              | 4                                   | 3       | 2       | 2       | 2       | —       |
| 9     | <i>Impatiens noli-tangere</i>      | 4                                   | 2       | 2       | —       | 2       | 6       |
| 10    | <i>Calamagrostis cf. canescens</i> | 4                                   | —       | 2       | 2       | 2       | 3       |
| 11    | <i>Glechoma hederacea</i>          | 3                                   | 2       | 3       | —       | —       | 3       |
| 12    | <i>Vicia cracca</i>                | 3                                   | —       | 2       | 1       | —       | 2       |



| №<br>п/п | Вид                                | Количество ППП,<br>где встречается вид | ППП<br>№ 1 | ППП<br>№ 2 | ППП<br>№ 3 | ППП<br>№ 4 | ППП<br>№ 5 |
|----------|------------------------------------|----------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 13       | <i>Humulus lupulus</i>             | 3                                      | —          | 2          | —          | 2          | 2          |
| 14       | <i>Epipactis palustris</i>         | 3                                      | 1          | 1          | —          | —          | 1          |
| 15       | <i>Stachys palustris</i>           | 3                                      | —          | 1          | 1          | 2          | —          |
| 16       | <i>Lysimachia nummularia</i>       | 2                                      | 4          | 3          | —          | —          | —          |
| 17       | <i>Geranium robertianum</i>        | 2                                      | 2          | 2          | —          | —          | —          |
| 18       | <i>Equisetum arvense</i>           | 2                                      | —          | —          | 2          | —          | 2          |
| 19       | <i>Scutellaria galericulata</i>    | 2                                      | —          | —          | 1          | 2          | —          |
| 20       | <i>Chamaenerion angustifolium</i>  | 2                                      | —          | —          | —          | 2          | —          |
| 21       | <i>Symphytum officinale</i>        | 2                                      | —          | —          | 2          | 2          | —          |
| 22       | <i>Filipendula denudata</i>        | 2                                      | —          | —          | 2          | —          | 2          |
| 23       | <i>Eupatorium cannabinum</i>       | 2                                      | —          | —          | 2          | —          | 2          |
| 24       | <i>Trifolium repens</i>            | 2                                      | 2          | 2          | —          | —          | —          |
| 25       | <i>Galeopsis tetrahit</i>          | 2                                      | —          | 1          | 1          | —          | —          |
| 26       | <i>Ribes nigrum</i>                | 2                                      | —          | 2          | 2          | —          | —          |
| 27       | <i>Cornus sanguinea</i>            | 2                                      | —          | —          | 2          | —          | 1          |
| 28       | <i>Moehringia cf. trinervia</i>    | 2                                      | —          | —          | —          | 2          | 1          |
| 29       | <i>Agrostis gigantea</i>           | 1                                      | —          | —          | —          | —          | 2          |
| 30       | <i>Echinocystis lobata</i>         | 1                                      | 2          | —          | —          | —          | —          |
| 31       | <i>Scirpus sylvaticus</i>          | 1                                      | —          | —          | —          | —          | 1          |
| 32       | <i>Stellaria nemorum</i>           | 1                                      | 1          | —          | —          | —          | —          |
| 33       | <i>Silene cf. baccifera</i>        | 1                                      | —          | 1          | —          | —          | —          |
| 34       | <i>Deschampsia cespitosa</i>       | 1                                      | —          | 2          | —          | —          | —          |
| 35       | <i>Veronica longifolia</i>         | 1                                      | —          | 1          | —          | —          | —          |
| 36       | <i>Lythrum salicaria</i>           | 1                                      | —          | —          | 1          | —          | —          |
| 37       | <i>Galium palustre</i>             | 1                                      | —          | —          | —          | 2          | —          |
| 38       | <i>Parthenocissus quinquefolia</i> | 1                                      | —          | —          | —          | 2          | —          |
| 39       | <i>Lychnis flos-cuculi</i>         | 1                                      | —          | —          | 1          | —          | —          |
| 40       | <i>Lathyrus cf. pratensis</i>      | 1                                      | —          | —          | 1          | —          | —          |
| 41       | <i>Mentha citrata</i>              | 1                                      | —          | —          | 2          | —          | —          |
| 42       | <i>Bidens tripartita</i>           | 1                                      | —          | —          | 2          | —          | —          |
| 43       | <i>Epilobium montanum</i>          | 1                                      | —          | —          | 2          | —          | —          |
| 44       | <i>Asteraceae sp.</i>              | 1                                      | —          | —          | 1          | —          | —          |
| 45       | <i>Valeriana officinalis</i>       | 1                                      | —          | —          | 1          | —          | —          |
| 46       | <i>Solidago canadensis</i>         | 1                                      | —          | —          | —          | —          | 2          |

Из таблицы 2 видно, что наиболее встречаемым и обильным видом является ежевика сизая, что также подтверждает наименование ассоциации ивняк ежевичный (*Salix alba* + *Rubus caesius*) [5].

Данная таблица была проанализирована кластерным методом. В результате кластерного анализа флористического состава живого напочвенного покрова в программе Statistica 6.0 получилось дерево, которое представлено на рисунке 2.

Таким образом, из рисунка 2 вытекают следующие выводы: наиболее близкими друг к другу по флористическому составу живого напочвенного покрова оказались площадки №1 и 2. Это вполне объяснимо, потому что на этих ППП максимально сконцентрирован клен ясенелистный. Таким образом, флористический состав этих 2-х площадок довольно схож.

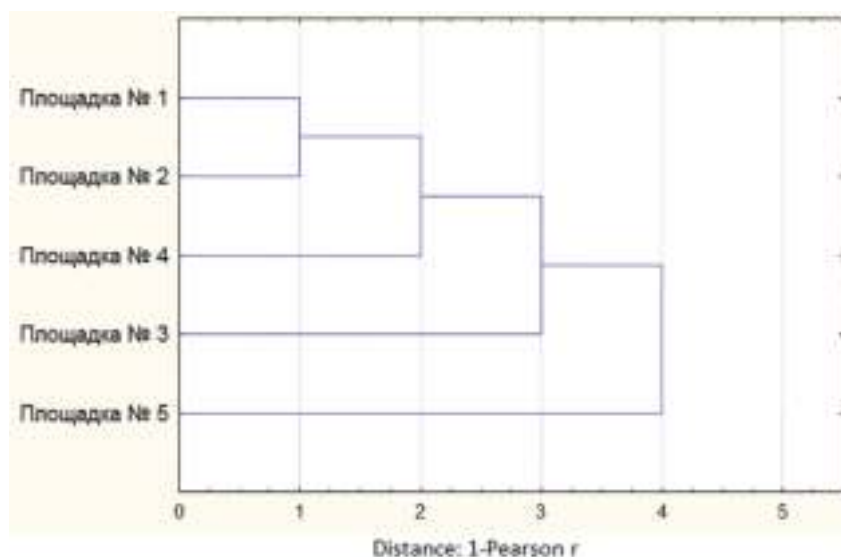


Рисунок 2 – Кластерный анализ флористического состава живого напочвенного покрова

Следующий кластер образуют между собой блок ППП №1, 2 и ППП №4. Эти субъединицы схожи между собой тем, что находятся в наиболее близком расстоянии по концентрации клена ясенелистного в их флористических сообществах. Флористический состав между ними наиболее близок. Также эти площадки очень схожи между собой по внешнему облику и рекреационной нагрузке.

Следующий кластер образуют блок площадок №1, 2, 4 и ППП №3. Эти площадки различаются тем, что ППП №3 не содержит клена ясенелистного. По этому показателю кластер должна была образовать вместо площадки №3 площадка №5. Но такой кластер образовался, очевидно, по совокупности факторов, и в результате объединяющих факторов оказалось больше, чем различающих. Вопреки всем ожиданиям, площадка №3 представляет собой довольно однообразное сообщество по видовому составу древесной флоры, несмотря на фактическое отсутствие инвазионного клена. Также площадка №3, согласно таблице 3, наполнена ювенильными проростками клена не менее других ППП, что также объясняет такое объединение.

ППП №5 отличается от других, прежде всего, флористическим составом древесных видов. Если максимальное их количество на всех ППП не превышает 6-ти видов, то на ППП №5 их содержится 12, что говорит о наибольшем разнообразии древесной флоры площадки №5. Также, если говорить о наличии клена на данной ППП, то можно сказать о том, что его концентрация здесь небольшая (формула древостоя по запасу –  $10И+К$ ). Еще данное сообщество отличается от других по внешнему облику и рекреационной нагрузке. ППП №5 находится недалеко от пляжа «Золотые пески» (г. Пинск), и таким образом представляет собой место, где ожидается гораздо большая рекреационная нагрузка, нежели на других пробных сообществах.

На основе наличия видов растений и их обилия для каждой ППП был вычислен индекс разнообразия Шеннона, значения которого представлены в таблице 3.

Таблица 3

Индекс разнообразия Шеннона

| Показатель     | ППП №1 | ППП № 2 | ППП № 4 | ППП № 5 | ППП № 3 |
|----------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Индекс Шеннона | 2,6    | 2,9     | 2,8     | 2,9     | 3,1     |

Из таблицы 3 видно, что минимальной величиной индекса Шеннона обладает сообщество №1, а максимальной – сообщество №3. Здесь наблюдается зависимость видового разнообразия живого напочвенного покрова от проективного покрытия клена ясенелистного, так как более разнообразным оказалось сообщество на площадке, где клен отсутствует, а менее разнообразным – на площадке с максимальной его концентрацией.

Полученные данные свидетельствуют о том, что клен ясенелистный обладает аллелопатическими свойствами в отношении растущих вблизи него растений, воздействуя на них через фитогенное поле. Более разнообразным оказалось сообщество на площадке, где клен отсутствует, а менее разнообразным – на площадке с максимальной его концентрацией. Таким образом, рекомендуется принятие мер против его распространения в фитоценозах.

**Заключение.** Высокая концентрация *A. negundo* влияет на разнообразие сообществ. Количество видов растений живого напочвенного покрова варьировало то 16 до 27. Зависимость видового состава живого напочвенного покрова от клена ясенелистного состоит в том, что в целом по мере уменьшения проективного покрытия клена ясенелистного наблюдается увеличение количества видов на ППП. Эти данные подтверждаются результатами кластерного анализа флористического состава живого напочвенного покрова и индексом разнообразия Шеннона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.]; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 407 с.: ил.
2. Методы изучения лесных сообществ / Е.Н. Андреева [и др.]. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
3. Раменский, Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова / Л.Г. Раменский; отв. ред. В.И. Василевич. – Ленинград: Наука, 1971. – 336 с.
4. MacArthur, R.H. Fluctuations of animal populations, and measure of community stability / R.H. MacArthur // Ecology, 1955. – V. 36, №7. – P. 353–356.
5. Учебная полевая практика по геоботанике: учебно-методическое пособие / Г.А. Сорокина [и др.]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 30 с.

## АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ОТ ОТРАСЛЕЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЗА ПЕРИОД 2010–2021 ГОДЫ

## ANALYSIS OF EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERIC AIR FROM THE MANUFACTURING INDUSTRIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS FOR THE PERIOD 2010–2021

**К. М. Мукина<sup>1,2</sup>, М. Л. Синуцкая<sup>1,2</sup>**

**К. М. Mukina<sup>1,2</sup>, M. L. Sinitskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kem@iseu.by, marinanelp@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

В статье представлен анализ динамики выбросов загрязняющих веществ от отраслей обрабатывающей промышленности за период 2010–2021 годы. Рассчитано процентное изменение массы выбросов и его темпы. Дан анализ состава выбросов обрабатывающей промышленности за 2015 год по следующим загрязняющим веществам: общие взвешенные частицы, диоксид серы и азота, оксид углерода, неметановые летучие органические соединения. На основе полученных результатов представлен прогноз состава выбросов на 2023 год.

The article presents an analysis of the dynamics of pollutant emissions from manufacturing industries for the period 2010–2021. The percentage change in the mass of emissions and its rates are calculated. The analysis of the composition of manufacturing industry emissions for 2015 for the following pollutants is given: total suspended particles, sulfur and nitrogen dioxide, carbon monoxide, non-methane volatile organic compounds. Based on the results obtained, a forecast of the composition of emissions for 2023 is presented.

**Ключевые слова:** обрабатывающая промышленность, загрязняющие вещества, загрязнение воздуха.

**Keywords:** manufacturing industry, pollutants, air pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-108-111>

Обрабатывающая промышленность является важной отраслью народного хозяйства Республики Беларусь. Её доля в объёме промышленного производства страны составила 89,4 % в 2021 году. Удельный вес в общем объёме промышленного производства (в %) обрабатывающей промышленности Республики Беларусь составляют следующие отрасли: производство продуктов питания, напитков и табачных изделий (23 %), производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха (3,1 %), производство изделий из дерева и бумаги, полиграфическая деятельность и тиражирование записанных носителей информации (6,4 %), производство кокса и продуктов нефтепереработки, химических продуктов (28 %), производство резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов (6,5 %), металлургическое производство; производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования (7,2 %), машиностроение (15,2 %) [1].

Из анализа данных следует, что основную долю обрабатывающей промышленности составляют производства кокса и продуктов нефтепереработки, химических продуктов (28 %) и продуктов питания, напитков и табачных изделий (23 %).

Обрабатывающая промышленность оказывает большое влияние на компоненты окружающей среды: она занимает второе место по количеству выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от всех видов экономической деятельности. Так в 2021 году масса выбросов составила 155,7 тыс. т или 33 % [2].

Для определения доли отраслей в выбросах загрязняющих веществ обрабатывающей промышленности были проанализированы данные Национального статистического комитета Республики Беларусь за период 2010–2021 годы [2]. На их основе построен график выбросов от отраслей обрабатывающей промышленности за период 2010–2021 годы, представленный на рисунке 1.

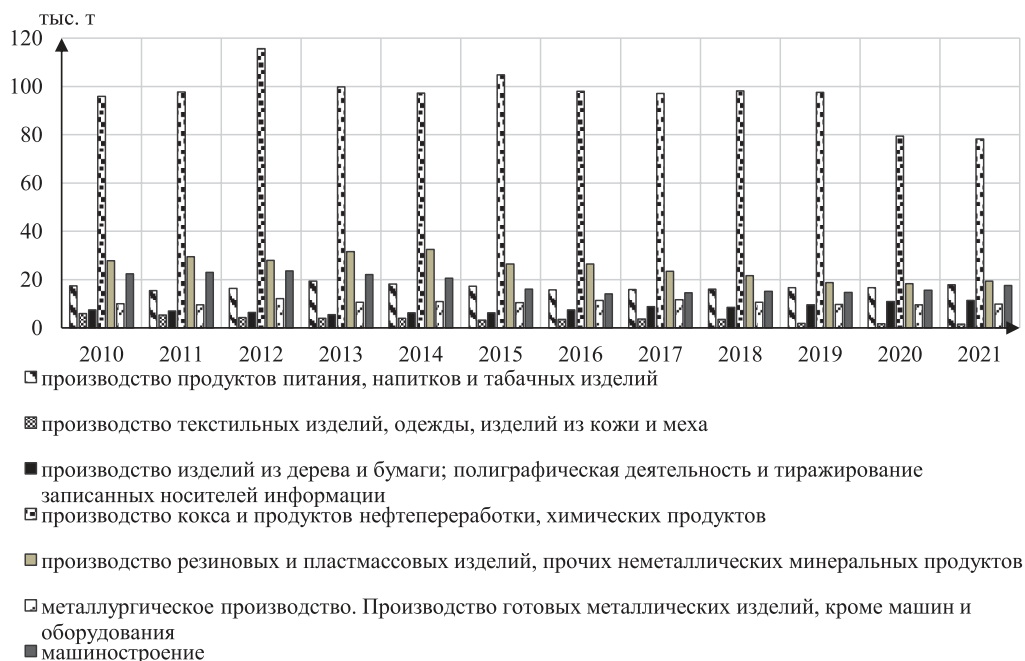


Рисунок 1 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от отраслей обрабатывающей промышленности за период 2010–2021 годы

Из графика следует что основную массу выбросов загрязняющих веществ обрабатывающей промышленности за 2010–2021 годы составляют выбросы от производства кокса и продуктов нефтепереработки, химических продуктов: 78,2–115,7 тыс. т. Затем выбросы от производства резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов 18,3–32,5 тыс. т, машиностроения 14,1–23,6 тыс. т, производства продуктов питания, напитков и табачных изделий 15,8–19,4 тыс. т, металлургического производства, производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования 9,5–12,1 тыс. т, производства изделий из дерева и бумаги, полиграфической деятельности и тиражирования записанных носителей информации 5,5–11,3 тыс. т, производства текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха 1,6–5,9 тыс. т. В 2010 году выбросы от производства кокса и продуктов нефтепереработки, химических продуктов составили 95,9 тыс. т, далее следует их резкое увеличением в 2012 году на 21 % от 2010 года, а затем сокращение. Тенденция снижения выбросов сохраняется на протяжении всего последующего периода и в 2021 году масса выбросов составляет 78,2 тыс. т. Таким образом к 2021 году количество выбросов снизилось на 18 % по сравнению с 2010 годом, и темп снижения составил 1,7 %.

Количество выбросов загрязняющих веществ от производства резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов в 2010 году составило 27,8 тыс. т. К 2014 году выбросы увеличились до 32,5 тыс. т, и далее сократились до 19,4 тыс. т в 2021 году. С 2015 года наблюдается тенденция сокращения выбросов, и она составляет 30 % в 2021 году к 2010 году, темп снижения – 2,7 %.

С 2010 по 2021 годы прослеживается тенденция снижения массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от машиностроительной отрасли. Так в 2010 году выбросы составляли 22,4 тыс. т., а в 2021 году 17,5 тыс. т, то есть снижение выбросов составило 22 % по сравнению к 2010 году, темп снижения – 2 %.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от производства продуктов питания, напитков и табачных изделий на 2010 год составили 17,4 тыс. т. На протяжении всего анализируемого периода количество выбросов сохраняется практически неизменным. В 2021 году масса выбросов составила 17,8 тыс. т, что означает её увеличение на 2,3 % по отношению к 2010 году, темп роста составил 0,2 %.

В период 2010–2021 годы масса выбросов от металлургического производства, производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования характеризуется своей стабильностью. Количество выбросов в 2021 году снизилось на 1 % по отношению к 2010 году, а темп снижения составил 0,1 %.

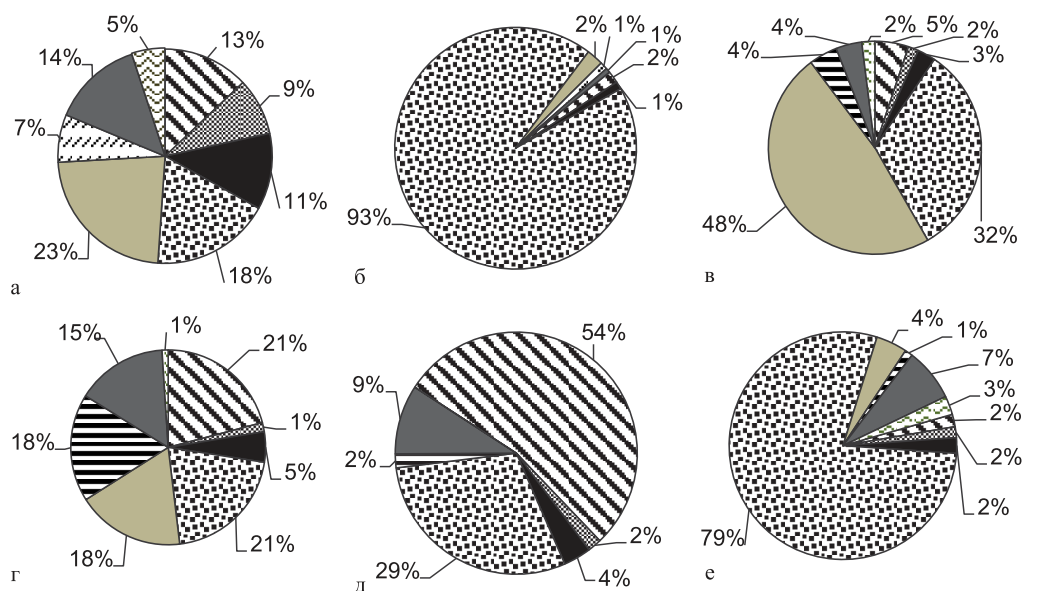


Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от производства изделий из дерева и бумаги, полиграфической деятельности и тиражирования записанных носителей информации уменьшились от 7,5 тыс. т до 5,5 тыс. т за 2010–2013 годы. С 2014 по 2021 годы сохранялась тенденция к росту, и в 2021 году выбросы составили 11,3 тыс. т, увеличившись на 51 % по сравнению с 2010 годом. Темп роста составил 4,6 %.

Производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха имеет наименьшее количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от всей обрабатывающей промышленности. Так в 2010 году масса выбросов составила 5,9 тыс. т, а в 2021 году сократилась до 1,6 тыс. т. Снижение составило 72 %, темп снижения 6,6 %.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что такие производства как производство продуктов питания, напитков и табачных изделий и металлургическое производство, производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования поддерживают выбросы загрязняющих веществ практически в неизменном состоянии за период 2010–2021 годы. За этот же период производства изделий из дерева и бумаги, полиграфической деятельности и тиражирования записанных носителей информации увеличили массу своих выбросов за счёт увеличения производства, а оставшиеся отрасли сократили общее количество выбросов.

На основе данных мониторинга в 2015 году доля выбросов загрязняющих веществ от обрабатывающей промышленности составляла: общие взвешенные частицы (ОВЧ) (8 %), диоксид серы (27 %) и азота (14 %), оксид углерода (22 %), углеводороды (3 %), неметановые летучие органические загрязнения (НМЛОС) (25 %). Для анализа были построены диаграммы распределения доли выбросов загрязняющих веществ по отраслям обрабатывающей промышленности в её общем объёме выбросов 2015 года – рисунок 2 [3].



□ производство продуктов питания, напитков и табачных изделий

▨ производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха

■ производство изделий из дерева и бумаги; полиграфическая деятельность и тиражирование записанных носителей информации

▩ производство кокса и продуктов нефтепереработки, химических продуктов

■ производство резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов

▬ металлургическое производство. Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования

■ машиностроение

▫ прочие отрасли промышленности

Рисунок 2 – Доля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников отраслей обрабатывающей промышленности 2015 года (а – ОВЧ, б – диоксид серы, в – диоксид азота, г – оксид углерода д – углеводороды, е – НМЛОС)

В ходе работы на график выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников обрабатывающей промышленности за период 2010–2021 годы была наложена линия тренда до 2023 года рисунок 3.

Прогнозируется, что выбросы от обрабатывающей промышленности в 2023 году составят 151 тыс. т, то есть сократятся на 19,2 % по сравнению с 2010 годом, темп снижения – 1,5 %.

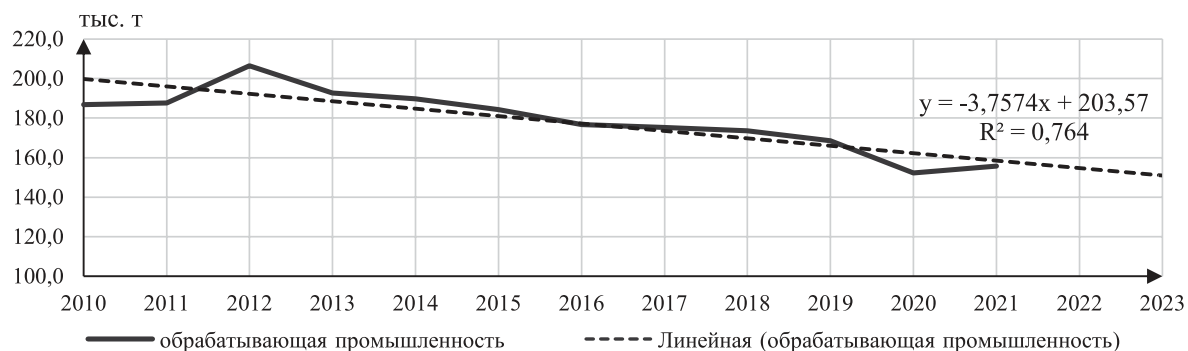


Рисунок 3 – Прогноз выбросов загрязняющих веществ от обрабатывающей промышленности в 2023 году

На основе полученных результатов и данных Национального статистического комитета Республики Беларусь были рассчитаны массы выбросов от стационарных источников отраслей обрабатывающей промышленности 2023 года таблица 1 [2,3].

Таблица 1

Масса выбросов загрязняющих веществ от отраслей обрабатывающей промышленности в 2023 году

| Отрасли обрабатывающей промышленности              | Загрязняющие вещества, тыс. т |      |              |               |                |              |       |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|------|--------------|---------------|----------------|--------------|-------|
|                                                    | ВСЕГО                         | ОВЧ  | диоксид серы | диоксид азота | оксид углерода | углеводороды | НМЛОС |
| производство продуктов питания, напитков...        | 14,16                         | 1,47 | 0,65         | 1,06          | 6,80           | 2,37         | 0,65  |
| производство текстильных изделий, одежды...        | 2,62                          | 0,98 | 0,08         | 0,33          | 0,49           | 0,08         | 0,57  |
| производство изделий из дерева и бумаги...         | 5,08                          | 1,31 | 0,41         | 0,57          | 1,64           | 0,16         | 0,82  |
| производство кокса и продуктов нефтепереработки... | 85,80                         | 2,05 | 37,66        | 6,71          | 6,71           | 1,31         | 29,15 |
| производство резиновых и пластмассовых изделий...  | 21,61                         | 2,62 | 0,90         | 9,99          | 5,81           | 0,08         | 1,64  |
| металлургическое производство...                   | 8,51                          | 0,82 | 0,41         | 0,90          | 5,81           | 0,00         | 0,41  |
| машиностроение                                     | 10,89                         | 1,56 | 0,25         | 0,82          | 4,91           | 0,41         | 2,78  |
| прочие отрасли промышленности                      | 2,29                          | 0,57 | 0,08         | 0,41          | 0,33           | 0,00         | 0,98  |

### ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленность Республики Беларусь. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: А.С. Снетков [и др.]. – Минск: Белстат, 2022. – 44 с.
2. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/a-zagryaznenie-atmosfernogo-vozduha-i-razrushenie-ozonovogo-sloya/a-1-vybrosy-zagryaznyayushchih-veschestv-v-atmosfernyi-vozduh/>. – Дата доступа: 07.02.2023.
3. Промышленность Республики Беларусь. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И.В. Медведева [и др.]. – Минск: Белстат, 2016. – 248 с.

# АНАЛИЗ СИСТЕМЫ «МЕНЕДЖМЕНТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ» ОАО БМЗ ANALYSIS OF THE «ENVIRONMENTAL MANAGEMENT» SYSTEM OF OJSC BMZ

**К. М. Мукина<sup>1,2</sup>, Е. О. Садилова<sup>1,2</sup>**

**K. M. Mukina<sup>1,2</sup>, E. O. Sadilova<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
kem@iseu.by, marinanelp@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Производственная деятельность ОАО «Белорусский металлургический завод» сопряжена с негативным воздействием на окружающую среду. Реализация на практике природоохранной деятельности обеспечивается работой системы менеджмента окружающей среды. Анализ охраны воздушного и водного бассейна, а также обращения с отходами производства выявил, что на предприятии эксплуатируются 505 источника выбросов с разрешенным валовым выбросом 10771,7 тонн/год. Для минимизации вредного воздействия основные источники выбросов, оснащены 128 установками очистки газов. Потребление технической воды составило в 2021 году 1023 тыс. м<sup>3</sup>/год, питьевой воды 1696 тыс. м<sup>3</sup>/год, объем оборотной воды 381 042 тыс. м<sup>3</sup>/год, использование ливневой воды 1389,6 тыс. м<sup>3</sup>/год. Приоритетным для работы с отходами является их переработка, вторичное использование и снижение объемов, идущих на захоронение.

The production activity of JSC «Belarusian Metallurgical Plant» is associated with a negative impact on the environment. The implementation of environmental activities in practice is ensured by the operation of the environmental management system. An analysis of the protection of the air and water basins, as well as the management of production wastes, revealed that the enterprise operates 505 emission sources with a permitted gross emission of 10,771.7 tons / year. To minimize the harmful impact, the main sources of emissions are equipped with 128 gas purification units. The consumption of technical water in 2021 amounted to 1023 thousand m<sup>3</sup>/year, drinking water 1696 thousand m<sup>3</sup>/year, the volume of recycled water 381 042 thousand m<sup>3</sup>/year, the use of storm water 1389.6 thousand m<sup>3</sup>/year. The priority for waste management is their processing, reuse and reduction of volumes going to landfill.

**Ключевые слова:** системы менеджмента окружающей среды, охрана воздушного бассейна, охрана водного бассейна, система технического водоснабжения, обращение с отходами производства.

**Keywords:** environmental management systems, air basin protection, water basin protection, service water supply system, production waste management.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-112-115>

Металлургия – одна из главных базовых отраслей промышленности, обеспечивающая другие отрасли конструкционными материалами (черными и цветными металлами). В основе металлургии Республики лежит ОАО «Белорусский металлургический завод» (БМЗ), который является управляющим предприятием холдинга «Белорусская металлургическая компания» и расположен в Жлобине. БМЗ и все его металлургические заводы, обеспечивают около 80 % выпуска республики в этой сфере. Предприятие специализируется на выплавке стали, чугуна, производстве стальных и чугунных труб, металлического корда, метизных и других металлических изделий. Сырьем для производства служит металлический лом, собираемый в Беларуси и закупаемый в России, небольшое количество ферросплавов завозится из Украины [1].

Производственная деятельность предприятия сопряжена с негативным воздействием на окружающую среду. Принимаются меры для минимизации негативного воздействия на жизнедеятельность региона, флору и фауну. Реализация на практике государственной политики обеспечивается эффективной работой Системы менеджмента окружающей среды (далее – СМОС), являющейся частью общей системы управления заводом, отвечающая за систематический подход к охране окружающей среды во всех сферах производственной деятельности завода. В рамках СМОС определены, документально оформлены и доведены до сведения персонала предприятия обязанности, ответственность и полномочия с целью содействия эффективному функционированию и управлению окружающей средой [2].

**Охрана воздушного бассейна.** Металлургическая отрасль занимает второе место по атмосферным выбросам среди всех других отраслей промышленности. Загрязнение атмосферы является основной экологической

проблемой, возникающей в результате деятельности металлургических производств, что приводит к загрязнению почв, уничтожению растительности и образованию техногенных пустошей. Твердые частицы – одни из основных загрязнителей от металлургических процессов.

С целью минимизации воздействия на жизнедеятельность населения региона БМЗ построен в юго-восточной части города с учетом розы ветров. Установлена санитарно-защитная зона радиусом 1000 м. Площади, находящиеся между границей территории предприятия и границей санитарно-защитной зоны, на 55 % заняты лесопосадками хвойных и лиственных пород деревьев, кустарниковой растительностью. Ближайший населенный пункт (д. Солоное) находится на расстоянии 1,075 км от границы территории предприятия. Жилые здания и кварталы города Жлобина находятся на расстоянии 3-3,5 километра [3].

Основными источниками вредного воздействия на окружающую среду являются источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух БМЗ. На предприятии эксплуатируются 505 источника выбросов с разрешенным валовым выбросом 10771,69 тонн/год. Для минимизации вредного воздействия основные источники выбросов, дающие наибольший вклад, оснащены установками очистки газов, которых насчитывается 128 единицы. В выбросах содержатся основные загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу: окись углерода (CO), азота диоксид (NO<sub>2</sub>), серы диоксид (SO<sub>2</sub>), твердые вещества (пыль неорганическая, MnO, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, пыль древесная, соединения кремния, стеарат натрия и др.), углеводороды, летучие органические соединения, прочие (рисунок 1).

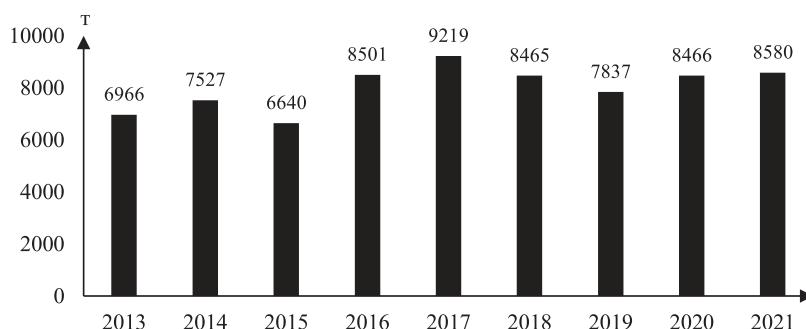


Рисунок 1 – Валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух за 2013–2021 гг., т

Анализируя показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, следует отметить: минимальный валовый выброс наблюдался в 2015 году. Этот показатель был достигнут установкой фильтровальных рукавов из искростойкой ткани на газоочистных установках электроплавильных печей (основных источников выброса). Дальнейшее возрастание выбросов обусловлено увеличением времени ряда источников выбросов, вводом новых производственных мощностей, а также изменение методики учета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Валовый выброс в 2019г. снизился по сравнению с 2018 г на 7,4% (627,275т), что обусловлено внедрением ряда мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух; валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу в 2020г. увеличился по сравнению с предыдущим 2019г. на 7,4 % (628,374 т). В целом за анализируемый период с 2013 по 2021 годы произошло увеличение валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу на 1614 т или 23%, ежегодный темп роста составил 2,9%. Увеличение обусловлено вводом новых источников выбросов (внепечная обработка стали в ЭСПЦ-2) и проведением в 2019 году инвентаризации источников выбросов с разработкой нового тома ПДВ. В ходе инвентаризации выбросов проводились инструментальные замеры на ДСП-3, на основании которых средние концентрации по газовым выбросам получились больше чем в предыдущей инвентаризации. (рис. 1) [1, 4].

БМЗ является одним из лидеров в Республике Беларусь по использованию автоматизированных систем контроля за выбросами. Все крупные источники выбросов в электроплавильных цехах, прокатном производстве оснащены этими системами. Они предназначены для того, чтобы персонал вовремя реагировал на техническое состояние газоочистного оборудования.

**Охрана водного бассейна.** Завод, осуществляя свою деятельность в сфере экологии, обеспечивает экономное расходование энергии и воды для собственных нужд, и, насколько возможно, сокращает их потребление. Забор воды для технических нужд осуществляется из реки Днепр, которая является одной из главных рек на территории Республики Беларусь. Ее длина от истока до устья составляет 1182 километра. Объем годового стока р. Днепр составляет 1 261 440 000м<sup>3</sup>. Годовой объем забора воды БМЗ составляет 0,12 % речного стока.

На предприятии реализована оборотная система водоснабжения основных потребителей – технологического оборудования. Вода из поверхностных источников (река Днепр) используется для возмещения безвозвратных потерь в системах охлаждения оборудования. На хозяйственно-питьевые нужды используется питьевая вода из артезианских скважин. Для уменьшения количества потребляемой из реки Днепр природной воды на предприятии используются дождевые воды, непосредственно собираемые и очищаемые на специализированных участках. Система хозяйственно-питьевого водоснабжения предприятия базируется на подземных водах. Источником водоснабжения предприятия является собственный водозабор подземных вод в составе 10 артезианских скважин,

станции обезжелезивания и обеззараживания. Вода питьевого качества на предприятии расходуется главным образом на хозяйственно-питьевые нужды и в незначительных объемах на производственные и противопожарные.

Система технического водоснабжения предприятия представлена комплексом сооружений и оборудования, обеспечивающих забор воды из поверхностного источника (река Днепр). Речная вода проходит очистку, обработку до требуемых параметров качества и подачу потребителям в качестве подпиточной воды для функционирующих контуров оборотного охлаждения, также используется ливневая вода, собранная и очищенная с промплощадки [2].

В целом за 2015 – 2021 годы использование технической воды уменьшилось на 553,2 тыс. м<sup>3</sup> или 35,1 %, темп снижения составил 92,2 тыс. м<sup>3</sup> в год (5, 85% в год). Объем оборотного водоснабжения за 2014 – 2021 годы в среднем составил 371208 тыс. м<sup>3</sup>/год. За этот же период потребление питьевой воды возросло на 440,7 тыс. м<sup>3</sup>/год, темп роста составил 67, 2 тыс. м<sup>3</sup> в год. Использование ливневой воды в среднем составляет 1144,2 тыс. м<sup>3</sup>/год (табл. 1).

Таблица 1

*Объемы водопотребления за период с 2014-2021 гг.*

| Наименование водопотребления                           | 2014    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    | 2019    | 2020    | 2021    |
|--------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Потребление технической воды, тыс. м <sup>3</sup> /год | 775,99  | 1 575,8 | 1 492,0 | 1 692,7 | 2 108,7 | 1 643,1 | 1 232,7 | 1022,6  |
| Потребление питьевой воды, тыс. м <sup>3</sup> /год    | 1 255,4 | 1 292,7 | 1 109,1 | 1 099,8 | 1 309,4 | 1 327,7 | 1 402,8 | 1696,1  |
| Объем оборотной воды, тыс. м <sup>3</sup> /год         | 319 813 | 377 374 | 365 927 | 369 808 | 378 522 | 399 640 | 377 538 | 381 042 |
| Использование ливневой воды, тыс. м <sup>3</sup> /год  | 1589,8  | 1 160,4 | 959,9   | 1 019,6 | 817     | 1 038   | 1 179,2 | 1389,6  |

Увеличение объемов потребления питьевой воды связано с увеличением потребления воды питьевого качества на технологические производственные нужды в сложившихся условиях производства при повышенных температурах окружающего воздуха – необходимость интенсивного охлаждения оборудования, исключение аварийных остановок. Использование ливневой воды позволяет снизить потребление технической воды. (таблица 1) [1].

Технологические сточные воды, образующиеся в результате производственной деятельности предприятия, направляются на очистные сооружения подразделений завода для переработки и возвращаются в производство для повторного использования. Хозяйственно-бытовые стоки завода отводятся на очистные сооружения города Жлобина. Содержание загрязняющих веществ (тяжелые металлы, нефтепродукты, солесодержание) в отводимых стоках не превышало установленных нормативных концентраций. Водные объекты, подверженные существенно влиянию производственной деятельности завода отсутствуют [1].

Хозяйственно-бытовые и в не значительных объемах производственные сточные воды предприятия отводятся по системе канализации и перекачиваются в приемную камеру городских очистных сооружений (КЖУП «Уником»). Дождевые сточные воды с производственной площадки предприятия направляются по внутриплощадочной сети самотечных трубопроводов и каналов в ливневые пруды-накопители для сбора, очистки и возврата в производство (четыре резервуара-отстойника 9000 м<sup>3</sup>, 12000 м<sup>3</sup>, 16000 м<sup>3</sup> и 20720 м<sup>3</sup>) [2].

**3.5 Обращение с отходами производства.** Существующая технология производства металлопродукции неизбежно связана с образованием отходов различных видов и классов опасности. Это один из самых значительных аспектов, приводящих к загрязнению окружающей среды. На БМЗ разработана общезаводская инструкция по обращению с отходами. Согласно этой инструкции, приоритетным направлением для работы с отходами является их переработка, вторичное использование и снижение объемов, идущих на захоронение. Наиболее объемными по образованию отходов являются сталеплавильный шлак и пыль сталеплавильных цехов. В зависимости от степени опасности отходов, их физических свойств на предприятии определен строгий порядок на всех этапах обращения с отходами производства (образование, сбор, перевозка, хранение, использование), обеспечивающий наименьшее влияние на окружающую среду [1].

В 2014 г. на базе цеха переработки огнеупорного лома было организовано предприятие «БМЗ-Экосервис», задачей которого является переработка максимального количества отходов, образовавшихся на предприятии. За 2020 год из всего количества образованных отходов 88% было передано специализированным организациям, занимающимся обезвреживанием, переработкой, утилизацией отходов. 10% используется на нужды предприятия. Это пыль газоочистного оборудования сталеплавильных цехов, которая состоит из твердых частиц оксида железа. Она используется как вещество для туширования горячего шлака, понижая его температуру. «БМЗ-Экосервис» перерабатывает бой огнеупорного лома, делая из него огнеупорные смеси, порошки и возвращая их на производство. 2% отходов, не подлежащих дальнейшей переработке, уходит на захоронение [2].

В целом за анализируемый период с 2013 по 2021 годы произошло снижение удельного размещения отходов на специализированных объектах на 44 кг/т металлопродукции или в 6,4 раза, ежегодный темп роста составил 5.5 кг/т металлопродукции или 79,5% (рисунок 2).



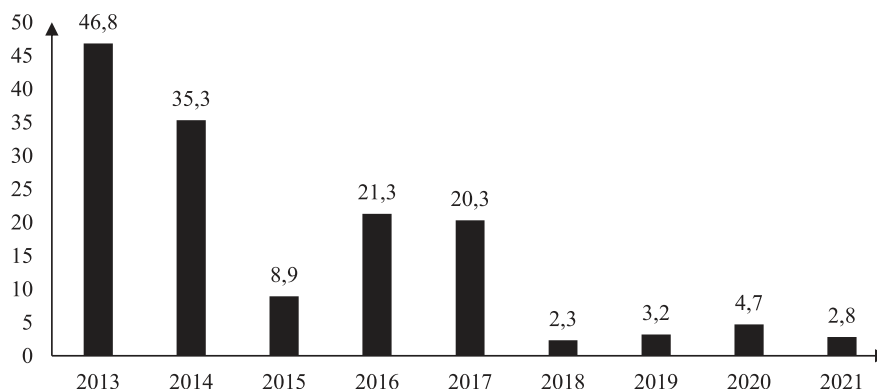


Рисунок 2 – Удельное размещение отходов на специализированных объектах за 2013–2020 гг., кг/т металлопродукции

За исследованный период 2013-2021 гг разливы химических веществ, масел и топлива, способных оказывать существенное отрицательное воздействие на окружающую среду, представляя потенциальную угрозу для почвы, вод, атмосферы, биоразнообразия и здоровья человека, отсутствовали.

На предприятии наблюдается положительная динамика снижения удельного расхода топливно-энергетических ресурсов по основным энергоемким производствам завода. В 2021 к наиболее значимым мероприятиям по энергосбережению относятся: модернизация котла-утилизатора ДСП-1 с установкой дополнительного насоса, оптимизация режимов нагрева металла с использованием горячего посада на нагревательных печах станов 320.850, Замена винтовых компрессоров ZR-6-50 и ZR-3 на негероэффективные турбокомпрессора (1-ая очередь), оптимизация режимов производства в СтПЦ-2 с минимизацией затрат на энергопотребление, установка 13-ого стана ГВ, экономия удельного потребления электроэнергии на производство продукции и другие мероприятия.

Общая экономия энергетических ресурсов за 2020 год составила 323 551 ГДж, 504 201 ГДж – в 2019 году. Количество использования вторичных тепловых энергоресурсов в 2021 году составило 43,4% от собственного производства теплоэнергии. Достигнутая экономия ТЭР дает не только уменьшение финансовой нагрузки на предприятие, но и снижает негативное влияние от производственной деятельности предприятия на окружающую природную среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет о деятельности в области устойчивого развития. – ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» – Жлобин, 2021. – 184 с
2. Комплексное природоохранное разрешение. – ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» – Жлобин, 2021. – 136с
3. *Макеев, В.В., Гребенчук, Е.М.* Оценка загрязнений твердыми частицами атмосферного воздуха от металлургического производства/ В.В. Макеев, Е.М Гребенчук; – БГУТ, 2020. – 5с.
4. Отчет о деятельности в области устойчивого развития. – ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» – Жлобин, 2017. – 89 с

### ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВОКУПНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ASSESSMENT OF HEALTH RISK UNDER EXPOSURE TO CHEMICAL SUBSTANCES USING A SET OF POLYMERIC BUILDING MATERIALS

**Р. В. Богданов, А. А. Евтерева, В. М. Василькевич, В. А. Занкевич, Л. М. Бондаренко**  
**R. Bogdanov, A. Yeutserava, V. Vasilkevich, V. Zankevich, L. Bondarenko**

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
promtox@rspch.by

Republican unitary enterprise «Scientific Practical Centre of Hygiene»,  
Minsk, Republic of Belarus

Полимерные материалы получили широкое распространение в строительной отрасли, что привело к интенсивному развитию их производства и дальнейшему росту потребления. Различное использование

полимерных изделий во многом определяется их свойствами, которые зачастую превосходят технические характеристики природных материалов, при этом в условиях использования совокупности полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов в помещениях жилых и общественных зданий обнаруживаются вредные химические вещества в различных концентрациях. Разработанный метод позволяет проводить гигиеническую оценку потенциального риска для здоровья населения при суммарной эмиссии вредных веществ, выделяющихся в воздушную среду помещений из совокупности полимерных материалов различного назначения с учетом кратности превышения установленных предельно допустимых концентраций, классов опасности и количества совместно мигрирующих химических веществ в воздушную среду.

Polymeric materials have become widespread in the construction industry, which has led to the intensive development of their production and further growth in consumption. Different use of polymeric products is largely determined by their properties, which often exceed the technical characteristics of natural materials. At the same time, in the conditions of using a combination of polymeric and polymer-containing building finishing materials in the premises of residential and public buildings, harmful chemicals are found in various concentrations. The developed method makes it possible to carry out a hygienic assessment of the potential risk to public health of the total emission of harmful substances emitted into the indoor air from a combination of polymeric materials for various purposes, taking into account the multiplicity of exceeding the established maximum permissible concentrations, hazard classes of substances and the amount of chemical substances migrating into the air.

*Ключевые слова:* оценка риска, вредные вещества, класс опасности, предельно допустимая концентрация, полимерные материалы.

*Keywords:* risk assessment, harmful substances, hazard class, maximum allowable concentration, polymeric materials.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-115-118>

Загрязнение воздушной среды и особенно воздуха помещений может вызывать неблагоприятные последствия для здоровья человека, поэтому проблеме качества воздушной среды уделяется особое внимание, что и предопределяет научную актуальность исследований. В условиях использования совокупности полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов в помещениях жилых и общественных зданий, современными методами исследований обнаруживается значительное разнообразие вредных химических веществ в различных концентрациях [1]. В частности, при использовании поливинилхлоридных материалов в воздушной среде обнаруживаются бензол, этилбензол, толуол, ксилол и иные углеводороды; лакокрасочные покрытия могут быть источниками формальдегида, толуола, ксилола; из изделий на фенолформальдегидной основе в воздушную среду выделяются метанол, фенол, формальдегид. При этом миграция химических веществ из каждого полимерного материала и изделия в воздушную среду помещений, как правило, отмечается на уровнях гигиенических нормативов вредных веществ, но в тоже время в реальных условиях при отделке помещений используется совокупность различных строительных отделочных материалов, из которых в жилую среду одновременно выделяется сразу несколько вредных химических веществ однонаправленного характера токсического действия, и даже если концентрации химических веществ не превышают гигиенические нормативы для каждого вещества и отдельно исследованного изделия, не представляется возможным утверждать о безопасности жилой среды для человека [2, 3, 4].

Миграция вредных веществ из полимерной продукции обусловлена несколькими причинами: выделением компонентов синтеза (мономеров, реагентов, эмульгаторов, растворителей, катализаторов), разрушением химических связей между полимерами с течением времени; химическим взаимодействием с кислородом или иными химическими веществами в окружающей среде, влиянием повышенной влажности и температуры.

Поэтому гигиеническая оценка суммарной эмиссии вредных веществ в воздушную среду помещений из совокупности полимерных материалов различного назначения сохраняет свою актуальность, а в некоторых случаях, приобретает все большую значимость при оценке потенциального риска для здоровья населения.

Разработанный метод оценки потенциального риска здоровью населения при воздействии химических веществ позволяет оценить потенциальный риск здоровью населения, ассоциированный с воздействием различных химических веществ, в условиях использования совокупности полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов в промышленном и гражданском строительстве и обосновать мероприятия, направленные на снижение уровня риска [5].

Оценка потенциального риска для здоровья проводится в три этапа:

- идентификация опасности;
- интегральная оценка опасности;
- оценка потенциального риска для здоровья.

Для идентификации опасности необходимо провести санитарно-химические исследования полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов по степени миграции вредных химических веществ. Ориентировочный перечень веществ, миграция которых определяется в воздушной среде, устанавливается с учетом использованной рецептуры при изготовлении материалов, литературных и нормативных данных.

При проведении санитарно-химических исследований в климатической камере отношение суммарной площади поверхности образца материала, выделяющего летучие органические вещества, к рабочему объему камеры

(показатель – «насыщенность») зависит от области применения материала: отделка пола или потолка –  $0,4 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ; стен –  $0,6 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ; стен и потолка –  $0,8 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ; погонажные изделия (плинтусы, подоконники, наличники пр.), герметизирующие, уплотнительные, клеевые материалы и пр. –  $0,1 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ; материалы, не имеющие непосредственного контакта с воздушной средой помещений, –  $0,3 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . для лакокрасочных материалов насыщенность определяется площадью окрашиваемой поверхности (пол, стены, потолок и пр.).

Санитарно-химические исследования полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов для качественного и количественного определения летучих вредных веществ, выделяющихся из них в воздушную среду, необходимо проводить в климатических камерах рабочим объемом от  $0,125 \text{ м}^3$  до  $50,0 \text{ м}^3$  в моделируемых условиях в динамическом режиме при температуре  $40 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , относительной влажности 30–65 %, скорости воздухообмена  $0,5 \pm 0,05$  объема/час. При необходимости, исследования могут проводиться и при других значениях температуры, влажности и воздухообмена, отражающих реальные условия эксплуатации полимерных материалов.

После определения концентраций химических веществ проводится интегральная оценка опасности загрязнения по суммарной эмиссии всех мигрирующих химических веществ с учетом их класса опасности. Для интегральной оценки опасности загрязнения воздушной среды помещений при использовании полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов (в случае одновременной миграции нескольких химических веществ) используется коэффициент суммарной миграции химических веществ ( $K_c$ ) изученного полимерного материала, который является обобщенным показателем, отражающим суммарную эмиссию всех мигрирующих химических веществ с учетом их класса опасности:

$$K_c = \sum_{i=1}^n \frac{C}{\text{ПДК}} \times a, \quad (1)$$

где  $K_c$  – коэффициент суммарной миграции химических веществ из изучаемого материала;

$C$  – концентрация химического вещества в воздухе климатической камеры ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ );

ПДК – предельно допустимая среднесуточная концентрация химического вещества в атмосферном воздухе ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ );

$a$  – коэффициент изoeffективности, в зависимости от класса опасности вредных веществ для веществ 1 класса опасности равен 2,0; 2 класса опасности – 1,5; 3 класса опасности – 1,0; 4 класса опасности – 0,8.

При интегральной оценке опасности загрязнения воздушной среды помещений необходимо использовать предельную допустимую среднесуточную концентрацию химического вещества в атмосферном воздухе. При отсутствии установленной предельной допустимой среднесуточной концентрации химического вещества в атмосферном воздухе возможно использовать максимальную разовую предельно допустимую концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Оценка потенциального риска при одновременном выделении нескольких химических веществ из различных исследованных образцов проводится по величине комплексного показателя « $R_i$ », учитывающего кратность превышения ПДК, класс опасности вещества, количество совместно мигрирующих химических веществ в воздушную среду. Наличие миграции нескольких химических веществ различных классов опасности может обуславливать их комбинированное действие и показатель « $R_i$ » учитывает характер комбинированного действия химических веществ по типу неполной суммы.

Оценка потенциального риска проводится по комплексному показателю « $R_i$ », который рассчитывается по формуле:

$$R_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n K_{c_i}^2 \times b_i}, \quad (2)$$

где  $R_i$  – комплексный показатель оценки потенциального риска;

$K_{c_i}$  – коэффициент суммарной миграции химических веществ каждого материала;

$b_i$  – отношение площади поверхности каждого изученного материала, выделяющего летучие органические вещества, к рабочему объему камеры в зависимости от области применения материала (насыщенность).

Значение комплексного показателя потенциального риска « $R_i$ » устанавливается в зависимости от количества испытанных образцов полимерных материалов в санитарно-химических исследованиях (таблица 1).

Таблица 1

Значение комплексного показателя потенциального риска « $R_i$ »

| Оценка потенциального риска | Величина комплексного показателя потенциального риска « $R_i$ » при заданном количестве исследованных образцов полимерных материалов, ед. |             |             |             |             |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                             | 2                                                                                                                                         | 3           | 4           | 5           | > 6         |
| Приемлемый риск             | до 6,0                                                                                                                                    | до 7,0      | до 8,0      | до 9,0      | до 10,0     |
| Удовлетворительный риск     | 6,1-10,0                                                                                                                                  | 7,1-11,0    | 8,1-12,0    | 9,1-13,0    | 10,1-14,0   |
| Неудовлетворительный риск   | 10,1-15,0                                                                                                                                 | 11,1-16,0   | 12,1-17,0   | 13,1-18,0   | 14,1-19,0   |
| Опасный риск                | 15,1 и выше                                                                                                                               | 16,1 и выше | 17,1 и выше | 18,1 и выше | 19,1 и выше |

Потенциальный риск здоровью оценивается в зависимости от величины показателя « $R_p$ », количества исследованных полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов и заболеваемости населения (таблица 2).

Таблица 2

*Оценка потенциального риска здоровью при использовании совокупности полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов*

| Оценка риска              | Градации заболеваемости населения                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Приемлемый риск           | – фоновый уровень заболеваемости населения. Дополнительные корректирующих мероприятий не требуется.                                                                                                                                           |
| Удовлетворительный риск   | – в единичных случаях у особо чувствительных людей возможны дискомфортные состояния. Дополнительные корректирующих мероприятий не требуется.                                                                                                  |
| Неудовлетворительный риск | – возможны жалобы населения на состояние дискомфорта, тенденция к росту общей заболеваемости. Требуется проведение корректирующих мероприятий по замене части используемых полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов. |
| Опасный риск              | – не допускается использовать данные сочетания полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов.                                                                                                                             |

Таким образом, разработанный метод позволяет проводить гигиеническую оценку потенциального риска для здоровья населения при суммарной эмиссии вредных веществ, выделяющихся в воздушную среду помещений из совокупности полимерных материалов различного назначения с учетом кратности превышения установленных предельно допустимых концентраций, классов опасности и количества совместно мигрирующих химических веществ в воздушную среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Губернский, Ю. Д. Актуальные вопросы гигиены жилой среды и пути их решения / Ю. Д. Губернский, Н. В. Калинина // Экология человека и медицина окружающей среды на рубеже веков: состояние и перспективы развития : сб. материалов / Фед. гос. бюджет. учрежд. «НИИЭЧиГОС им. А. Н. Сысина» ; под ред. Ю. А. Рахманина. – М., 2006. – С. 232–243.
2. Василькевич, В. М. Изучение эмиссии химических веществ из полимерных отделочно-интерьерных материалов при различных температурных условиях моделирования / В. М. Василькевич, Л. В. Половинкин, Т. П. Крымская // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены ; гл. ред. Г. Е. Косаченко. – Минск, 2013. – Вып. 22. – С. 152–160.
3. Губернский, Ю. Д. Роль факторов жилой среды в здоровье человека / Ю. Д. Губернский, Ю. А. Рахманин, Н. В. Калинина // Вестн. Рос. акад. мед. наук. – 2006. – № 5. – С. 26–30.
4. Василькевич, В. М. Материалы на древесной и полимерной основе как гигиенически значимые факторы загрязнения воздушной среды помещений / В. М. Василькевич, Л. В. Половинкин, Ю. А. Соболев // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. / ГУ «Респ. науч.-практ. центр гигиены» ; гл. ред. В. П. Филонов. – Минск, 2010. – Вып. 16. – С. 287–291.
5. Метод оценки потенциального риска здоровью населения при воздействии химических веществ в условиях использования совокупности полимерных и полимерсодержащих строительных отделочных материалов : инструкция по применению, рег. № 046-0622 : утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 26.08.2022. – Минск, 2022. – 12 с.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД

### ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE DESIGN AND OPERATION OF WASTEWATER TREATMENT FACILITIES

**Ю. И. Ахмадиева<sup>1</sup>, С. А. Дубенок<sup>2</sup>, А. И. Денищук<sup>1</sup>**  
**Y. Akhmadziyeva<sup>1</sup>, S. Dubianok<sup>2</sup>, A. Dzianishchuk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, 7069760@gmail.com

<sup>2</sup>УО «Белорусский национальный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, dsnega@list.ru

<sup>1</sup>RUE «Central Research Institute for Complex Use of Water Resources»,  
Minsk, Republic of Belarus, 7069760@gmail.com

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus, dsnega@list.ru



В статье рассмотрены особенности проектирования и эксплуатации очистных сооружений сточных вод как важнейшей составляющей централизованных систем водоотведения (канализации) населенных пунктов. Проанализированы подходы к оценке эффективности таких систем. Показана перспектива разработки наилучших доступных технических методов как инструмента повышения эффективности очистки сточных вод и экологической безопасности централизованных систем водоотведения (канализации) населенных пунктов.

The article discusses the features of design and operation of wastewater treatment plants as the most important component of centralized sewerage systems in settlements. Approaches to evaluating the effectiveness of such systems are analyzed. The prospect of developing the best available technical methods as a tool for improving the efficiency of wastewater treatment and environmental safety of centralized sewerage systems in settlements is shown.

*Ключевые слова:* очистные сооружения, сточные воды, охрана окружающей среды, наилучшие доступные технические методы.

*Keywords:* wastewater treatment facilities, wastewater, environmental protection, best available technology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-118-121>

Охрана окружающей среды – неотъемлемое условие обеспечения экологической безопасности, устойчивого экономического и социального развития общества. При этом очистка сточных вод является одной из основных составляющих природоохранной деятельности.

Согласно данным Государственного водного кадастра Республики Беларусь за 2021 год [1], объем сточных вод, сброшенных водопользователями в окружающую среду, составил 1254 млн. м<sup>3</sup>, из них 1133,94 млн. м<sup>3</sup> или 90,4% сточных вод сброшено в поверхностные водные объекты (водотоки и водоемы).

В структуре сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты, наибольший объем составили нормативно очищенные сточные воды – 745,3 млн. м<sup>3</sup> (65,7 % от объема сброса сточных вод в поверхностные водные объекты). Без предварительной очистки в поверхностные водные объекты республики было сброшено 386,3 млн. м<sup>3</sup> сточных вод (34,1 %). Остальной объем сточных вод (2,34 млн. м<sup>3</sup> или 0,2 %) приходится на долю недостаточно очищенных сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты.

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» [2] (далее - Закон Об охране окружающей среды), при планировании и застройке населенных пунктов в обязательном порядке должны предусматриваться мероприятия по сохранению и восстановлению окружающей среды, соблюдаться требования в области охраны окружающей среды, а также приниматься меры по очистке сточных вод, соблюдению нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ, и иные меры по обеспечению экологической безопасности.

Соблюдение требований законодательства с учетом сложившейся многолетней практики в части сбора, транспортировки, очистки сточных вод и последующего их сброса в окружающую среду, обеспечивается путем строительства и эксплуатации централизованных систем водоотведения (канализации) населенных пунктов. В общем понимании, это системы водоотведения (канализации), в которые отводятся сточные воды всех абонентов и потребителей соответствующего населенного пункта.

При этом, в соответствии с действующим законодательством, прием в централизованные системы водоотведения (канализации) производственных сточных вод абонентов возможен только при соблюдении условий приема, установленных местными исполнительными и распорядительными органами по согласованию с территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Условия приема содержат перечень загрязняющих веществ (показателей) и их допустимые концентрации в составе отводимых в централизованные системы водоотведения (канализации) сточных вод. В случаях, если качество производственных сточных вод не соответствует установленным требованиям, абоненты обязаны обеспечивать предварительную очистку сточных вод перед их сбросом в централизованные системы водоотведения (канализации) на локальных очистных сооружениях.

Обеспечение населения централизованными системами водоотведения (канализации) является одной из основных задач подпрограммы 5 «Чистая вода» Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021-2025 годы (далее – подпрограмма «Чистая вода»). Целевым показателем, характеризующим результат выполнения мероприятий, направленных на решение поставленной задачи, является «Обеспеченность населения централизованными системами водоотведения (канализации), %».

Целевой показатель рассчитывается как отношение количества населения (человек), обеспеченного централизованными системами водоотведения (канализации) к общей численности населения соответствующего населенного пункта, выраженное в процентах. По итогам 2022 года целевой показатель подпрограммы «Чистая вода» «Обеспеченность населения централизованными системами водоотведения (канализации)» составил 79,4%.

Централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, как правило, являются собственностью местных исполнительных и распорядительных органов и находятся в хозяйственном ведении организаций водопроводно-канализационного хозяйства (жилищно-коммунального хозяйства), обеспечивающих эксплуатацию таких систем.



Как правило, централизованные системы водоотведения (канализации) включают в себя сети водоотведения (канализации), канализационные насосные станции, очистные сооружения сточных вод, вспомогательные устройства и оборудование. При этом, с точки зрения экологической безопасности, основной частью централизованных систем водоотведения (канализации), обеспечивающей очистку сточных вод и дальнейший их сброс в окружающую среду, являются именно очистные сооружения сточных вод населенных пунктов.

Очистные сооружения сточных вод населенных пунктов включают сооружения, предназначенные для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод или их смеси с производственными сточными водами и (или) поверхностными сточными водами.

В соответствии с действующей в Республике Беларусь классификацией, очистные сооружения городских (смешанных) сточных вод по степени очистки сточных вод подразделяются на: сооружения первичной очистки, вторичной очистки и третичной очистки [3].

Первичная очистка сточных вод представлена сооружениями механической очистки, принцип действия которых основан на процессах процеживания, отстаивания, фильтрования и обработки сточных вод в поле центробежных сил. Конструктивно такие сооружения выполнены в виде различных решеток, песколовков, отстойников, септиков, фильтров, нефтеловушек, гидроциклонов.

К вторичной очистке относятся сооружения биологической очистки или эквивалентный по степени очистки комплекс сооружений механической и физико-химической очистки. Как правило, в составе сооружений вторичной очистки при биологической очистке сточных вод эксплуатируются аэротенки, биофильтры, биореакторы.

Применение сооружений вторичной очистки предусматривает предварительную очистку сточных вод с использованием сооружений механической очистки.

Третичная очистка подразумевает применение сооружений глубокой очистки (доочистки) сточных вод и предназначена для достижения более высокой степени удаления загрязняющих веществ в сравнении с достигаемой степенью их удаления при вторичной очистке. Применение сооружений третичной очистки предусматривает предварительную очистку сточных вод с использованием первичной и вторичной очистки.

Правила расчета и проектирования централизованных систем водоотведения (канализации) населенных пунктов (в том числе очистных сооружений сточных вод) и объектов производства устанавливают строительные нормы СН 4.04.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [4]. Дополнительно при проектировании объектов строительства, реконструкции очистных сооружений сточных вод, необходимо руководствоваться законами Республики Беларусь, нормативными правовыми актами, в том числе техническими нормативными правовыми актами, устанавливающими требования в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, промышленной безопасности, санитарно-эпидемиологического благополучия населения, охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Оценка соответствия объекта строительства, реконструкции, требованиям нормативных правовых актов, в том числе технических нормативных правовых актов в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности осуществляется при проведении государственной экспертизы. Установление соответствия планируемых проектных решений требованиям законодательства об охране окружающей среды и рационального использовании природных ресурсов, осуществляется при проведении государственной экологической экспертизы.

Требования по обеспечению экологической безопасности при эксплуатации очистных сооружений сточных вод установлены ЭкоНиП 17.06.06-005-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Требования по обеспечению экологической безопасности при эксплуатации очистных сооружений сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду» [5] (далее – ЭкоНиП), согласно которому экологическая безопасность при эксплуатации очистных сооружений сточных вод обеспечивается в результате их бесперебойного и надежного функционирования, а также достижения требуемой эффективности удаления загрязняющих веществ в составе сточных вод в процессе их очистки.

При этом бесперебойное и надежное функционирование обеспечивается соблюдением правил технической эксплуатации гидротехнических сооружений и устройств, а также своевременным проведением планово-предупредительных мероприятий, включающих периодические осмотры (обследования) и техническое обслуживание сооружений и оборудования.

В свою очередь, достижение требуемой эффективности удаления загрязняющих веществ в составе сточных вод в процессе их очистки обеспечивается путем:

- ведения учета сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду;
- оценки соответствия технологических процессов и этапов (видов) очистки сточных вод проектной и иной технической документации;
- определения видов (наименований) и объемов отходов, образующихся на очистных сооружениях [5].

Требования по обеспечению экологической безопасности установлены для каждого из этапов (видов) очистки сточных вод: механическая очистка, биологическая очистка, физико-химическая очистка. Отдельное внимание уделено требованиям по обеспечению экологической безопасности при эксплуатации сооружений обработки осадков сточных вод.

Эффективность удаления загрязняющих веществ в составе сточных вод в процессе их очистки в целом по очистным сооружениям либо по отдельным ступеням (звеньям) очистки определяется путем сопоставления фактических данных и проектных значений. В приложении 1 к ЭкоНиП приведены значения эффективности удале-

ния некоторых видов загрязняющих веществ в зависимости от применяемых методов очистки, однако имеющаяся информация представлена очень обобщенно.

Так, например, эффективность удаления взвешенных веществ для механической очистки установлена без детализации по отдельным ступеням очистки, приведенным в главе 3 ЭкоНиП (решетки, песколовки, первичные отстойники, двухъярусные отстойники, септики, нефтеловушки, фильтры, гидроциклоны и т.д.) и составляет 45–64 %. При этом, согласно СН 4.04.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения», при проектировании решеток с прозорами не более 6 мм (наиболее распространенные на объектах водопроводно-канализационного хозяйства) снижение содержания взвешенных веществ следует принимать 10–15 %, а при проектировании двухъярусных отстойников – 40–50 %.

Эффективность удаления загрязняющих веществ в составе сточных вод в процессе их очистки, а, следовательно, и экологическая эффективность работы очистных сооружений сточных вод напрямую зависит от применяемых технологий и оборудования. В свою очередь развитие технологий очистки сточных вод непосредственно связано с требованиями нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Действующими нормативными правовыми актами, техническими нормативными правовыми актами предусмотрены требования по обеспечению экологической безопасности при проектировании и эксплуатации очистных сооружений сточных вод, однако до настоящего времени отсутствует документ, устанавливающий взаимосвязь между технологиями очистки сточных вод и экологической эффективностью их применения (соблюдения требований законодательства в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов).

В то же время, в практике зарубежных стран активно развивается тенденция применения наилучших доступных технологий для различных отраслей промышленности и производственных процессов, применение которых подразумевает одновременное сочетание экологической эффективности, экономической целесообразности и технической возможности применения того или иного технологического метода в условиях определенного объекта.

В настоящее время существует множество различных технологий очистки сточных вод и их конструктивного исполнения, однако в мировом профессиональном сообществе уже сложились типовые технологические схемы очистки сточных вод, проверенные на практике в различных условиях их применения. Кроме того, несмотря на наличие национальных нормативов и стандартов, происходит гармонизация требований к качеству очистки сточных вод, проектированию, строительству и эксплуатации очистных сооружений сточных вод на основе концепции наилучших доступных технологий.

В этой связи, с учетом наличия в Республике Беларусь действующей законодательной базы для разработки, внедрения и распространения НДТМ, значительными объемами сточных вод и разнообразием загрязняющих веществ, поступающих с очистных сооружений сточных вод населенных пунктов в окружающую среду, целесообразно направить усилия профессионального сообщества республики на разработку технического нормативного правового акта, устанавливающего взаимосвязь между технологиями очистки сточных вод и экологической эффективностью их применения в реальных условиях. Разработка такого документа должна быть обеспечена научными исследованиями, включающими анализ международного опыта применения наилучших доступных технологий очистки сточных вод, а также формирование базы данных технологий очистки сточных вод очистных сооружений населенных пунктов Республики Беларусь и эффективности их применения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов». URL: <http://www.cricuwr.by/> (дата обращения: 01.03.2023).
2. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-ХП // Информационно-поисковая система «ЭТАЛОН-ONLINE». –Режим доступа: [https://etalonline.by/document/?regnum=v19201982&q\\_id=7125360](https://etalonline.by/document/?regnum=v19201982&q_id=7125360). –Дата доступа: 28.02.2023.
3. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод : СТБ 17.06.02-03-2015. – Введ. 25.05.15. – Минск : БНТУ, 2015. – 32 с.
4. Строительные нормы Республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения : СН 4.04.02-2019. – Введ. 31.10.2019. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2019. – 89 с.
5. Экологические нормы и правила. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Требования по обеспечению экологической безопасности при эксплуатации очистных сооружений сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду : ЭкоНиП 17.06.06-005-2022. – Введ. 01.03.2023. – Минск : 2023. – 49 с.

# ОЦЕНКА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА SALIX КАК ИСТОЧНИКА ПРИРОДНЫХ ТАНИНОВ

## ASSESSMENT OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS SALEX AS A SOURCE OF NATURAL TANNINS

**В. В. Медушевская<sup>1,2</sup>, О. И. Родькин<sup>1,2</sup>**

**V. V. Medushevskaya<sup>1,2</sup>, O. I. Rodzkin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь, [mver27@mail.ru](mailto:mver27@mail.ru)

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Растения ивы или представители рода *Salix* широко используются в развитых странах не только в целях ландшафтного дизайна, но и в промышленности, биоэнергетике, медицине и других отраслях. В частности кора растений ивы используется в современной медицине как источник салицилатов, обладающих жаропонижающим и противовоспалительным действием. Кроме того, в коре растений ивы, принадлежащих к различным видам рода *Salix* содержатся и другие соединения которые могут быть использованы в различных отраслях деятельности, например танины имеющие промышленное значение. В представленной работе дана оценка потенциала растений ивы, как источника танинов, а также рассмотрены их характеристика, применение и свойства.

Representatives of the genus *Salix* are widely used in developed countries not only for landscape design purposes, but also in industry, bioenergy, medicine and other industries. In particular, the bark of willow plants is used in modern medicine as a source of salicylates with antipyretic and anti-inflammatory effects. In addition, the bark of willow plants belonging to various species of the genus *Salix* contains other compounds that can be used in various industries, for example tannins of industrial importance. In the presented work, the potential of willow plants as a source of tannins is assessed, and their characteristics, application and properties are considered.

*Ключевые слова:* ива, кора, древесина, танины, дубильные вещества.

*Keywords:* willow, bark, wood, tannins.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-122-125>

Танины, или дубильная кислота, – это водорастворимые полифенолы (сложные природные органические соединения), которые содержатся во многих растительных продуктах. С французского название переводится как «дубление кожи», что и определяет одно из главных способностей вещества.

Танины представляют собой порошок желто-коричневого цвета. Это вещество часто находят в растениях, преимущественно в корнях, коре деревьев, листьях, некоторых плодах. Высокие концентрации содержатся в коре [2].

*Свойства танинов.* Дубильная кислота, или танин, легко растворяется в воде, может соединяться со спиртом и плохо взаимодействует с глицерином. Танины могут разводиться щелочной субстанцией, хлороформом и другими веществами. С соединениями железа они приобретают фиолетовый или пурпурный осадок. При высоких температурах танины обугливаются, выделяя пирокатехины и пирогаллол.

*Использование танинов.* В природе натуральные танины содержатся в двухдольных растениях. В высокой концентрации они содержатся в отдельных частях какао, каштана, дуба, в плодах хурмы. Исследования показали, что в небольших количествах танины есть в шалфее, зверобое, цветах ромашки, в ежевике. Часто их находят в плаунах, папоротниках, хвоще, мхах. Самое большое количество танинов (до 70 %) содержится в наростах на деревьях. Доказано, что показатель содержания танина в растениях не статичен. В разные сезоны концентрация меняется, разная она и на протяжении светового дня. Весной растения содержит максимальное количество дубильной кислоты, также концентрация утром и вечером больше, чем в полдень.

Танины имеют важное эколого-биологическое значение для растений и являются природной защитой от патогенных микроорганизмов, а также от поедания жвачными животными: благодаря танинам растения становятся для животных невкусными хотя и остаются съедобными.

Известность и практическое значение для производства танины получили благодаря способности связываться с биологическими полимерами: белками, полисахаридами, нуклеиновыми кислотами и др. Также танины могут связывать тяжелые металлы и некоторые биологические токсины (не только высокомолекулярные, но

и с низкомолекулярные: например, алкалоиды). С тяжелыми металлами танины образуют прочные комплексы, с биологическими полимерами и алкалоидами - нерастворимые осадки.

Танины оказывают дубящее действие на шкуры животных и обладают антисептическими свойствами. Как и другие полифенолы, танины легко окисляются, поэтому они обладают антиокислительным (антиоксидантным) действием [2].

Как результат, танины применяются в пищевой промышленности, кожевенной промышленности (дубление кож и меха), использовались для крашения тканей и т.д. Благодаря способности связывать тяжелые металлы и биологические яды танины используются в медицине для детоксикации. Дополнительно танины применяются в медицине для лечения ожогов (вяжущие средства) и в качестве средств против диареи.

Дубильная кислота на основе танинов используется во всем мире в качестве осветлителя в алкогольных напитках и в качестве ароматического ингредиента как в алкогольных, так и в безалкогольных напитках или соках. Дубильные вещества различного ботанического происхождения также находят широкое применение в винодельческой промышленности.

Аналогами танинов, но с гораздо большей молекулярной массой, можно считать гумусовые вещества: гуминовые кислоты, фульвокислоты и т.п. Это еще более конденсированные продукты, чем танины. Гуминовые и фульвокислоты образуются при разложении растений. Они распространены, как в грунте, так и в природных водах и также могут прочно связывать переходные металлы («тяжелые металлы») в комплексы[5].

**Рынок танинов.** Производство танинов началось в начале 19-го века с промышленной революцией для производства дубильного материала, необходимого для увеличения количества кожи. До этого в процессах использовался растительный материал и они были длительными (до шести месяцев).

В 1950–1960-х годах на рынке растительных танинов произошел коллапс из-за появления синтетических танинов, которые были изобретены в ответ на дефицит растительных танинов во время Второй мировой войны. В то время многие небольшие предприятия по производству танинов были закрыты. По оценкам, растительные дубильные вещества используются для производства 10–20 % мирового производства кожи [2].

Тем не менее интерес к производству и спрос на растительные танины возрастает. Одним из наиболее перспективных направлений их использования является защита от коррозии металлов. Недостатками синтетических преобразователей ржавчины является их недостаточно высокая эффективность и токсичность для окружающей среды. Синтетические растворы после обработки металла необходимо удалять с поверхности иначе вновь быстро появляется ржавчина. Процесс удаления требует использования дополнительных агрессивных к окружающей среде и человеку растворителей, таких как уайт-спирит, диоксид кремния, различные синтетические масла и т.д. Они негативно воздействуют на компоненты окружающей среды, вызывают раздражение кожи, слизистых оболочек, дыхательных путей. Этих недостатков лишены преобразователи ржавчины, производимые из растительных танинов. Стоимость производства конечного продукта (танина) зависит от метода, используемого для извлечения дубильных веществ, и их содержания в растениях. При высоком содержании танинов в растении наиболее экономически эффективным методом является экстракция горячей водой.

**Источники растительных танинов.** В настоящее время танины растительного происхождения приобретаются за рубежом. Основным источником танинов считается сладкое каштановое дерево *Castanea sativa* которое не встречается в естественных фитоценозах Беларуси. Почти все органы каштана содержат танины, в том числе древесина 8–18 %, кора – 10 %.

Тем не менее, в флоре Беларуси есть собственные древесные виды с большим содержанием танинов перспективные для их производства. Например, ива, дуб, ель. Содержание танинов в коре ивы может достигать 10 и более процентов. Преимущество использования ивы заключается в возможности создания постоянных короткоцикловых плантаций. Такие плантации остаются на одном месте более 20 лет, с периодом уборки 3–4 года. Таким образом, можно получать 7-8 урожаев биомассы ивы с плантации представленной молодыми прутьями с диаметром 5–7 см и высоким содержанием танинов. При этом выход биомассы достигает 15 и более тонн с гектара в расчете на год.

Содержание танинов в коре ивы составляет от 8 до 20 %. Содержание дубильных веществ в ивовой коре изменяется в широких пределах, в зависимости от вида растений рода *Salix*. Ивовая кора от различных видов ивы (козьей (*Salix caprea*), пепельной (*Salix cinerea*), трёхтычинковой (*Salix triandra*), чернеющей (*Salix myrsinifolia*) применяется часто на кожевенных заводах, а для некоторых сортов кожевенного производства даже предпочитается традиционной дубовой коре.

Ива (лат. *Salix*) – род древесных растений семейства Ивовые (*Salicaceae*). С ботанической точки зрения, ивы (*Salix* L. 1753) - это двудомные листопадные фанерофиты с симподиальным типом нарастания побегов. Род представлен самыми разными жизненными формами: деревьями, кустарниками, кустарничками. В роду есть 40-метровые великаны и лилипуты, доросшие лишь до трех сантиметров в высоту. Наряду с листопадными, есть и вечнозеленые растения[1].

Большинство видов ив любят влажность и произрастают в сырых местах, в сухих же местах (на склонах, песках и т. п.) и на болотах растут сравнительно немногие виды. Встречается ива и в лесах, как подмесь к другим деревьям. На территории Республики Беларусь часто встречаются такие виды как: Ива остролистная, Шелюга красная, пепельная, пятитычинковая, корзиночная, белая и многие другие.



*История изучения ивы.* Ботаническая история ивы начинается с I века. Плиний Старший, автор знаменитой «Естественной истории» в 37 книгах, первым из учёных описал восемь видов ивы. Известный ботаник Карл Линней установил двадцать девять видов ив. Наиболее полно систематику ив изложил русский учёный Алексей Константинович Скворцов в своей книге «Ивы СССР», вышедшей в 1968 г. Им была проведена критическая ревизия всех накопившихся данных. Уточнён видовой состав во флоре СССР. Изучена номенклатура всех таксонов, осуществлена типификация, выбраны приоритетные названия. Уточнены диагностические признаки видов, выделены подвиды, составлены определительные ключи[1].

*Биологические и экологические особенности ивы.* Условия местопроизрастания ив весьма разнообразны, и это обстоятельство, естественно, налагает своеобразный отпечаток на организм растения. Преобладающее большинство ив – и по видовому составу, и по занимаемой площади – произрастает в поймах рек. Но пойма различна в разных частях. Поэтому и видовой состав ив здесь не везде одинаков.

Экологические требования ив определяют и их морфологические особенности. Листья у одних видов ив густая, курчавая, зелёного цвета, у других более редкая сквозистая, серо-зелёного или серо-белого цвета. Листья очерёдные, черешчатые; листовая пластинка у одних видов широкая, эллиптическая, у других довольно узкая и длинная; край пластинки только у немногих видов цельный, у большинства же мелко или крупно зубчатый. Пластинка бывает или блестящего, ярко-зелёного цвета на обеих поверхностях, или только на верхней; нижняя же поверхность у таких ив от волосков и от сизого налёта бывает серого или голубоватого цвета. Цилиндрический черешок довольно короткий; у основания его находятся два прилистника, большей частью зубчатых, широких, или узких; они сохраняются или только до полного развития листа, или всё лето. Прилистники служат хорошим признаком для различения разных видов ив; один вид, носящий название Ива ушастая (*Salix aurita*) имеет прилистники большие, торчащие в виде ушей. Весьма любопытно то, что прилистники наиболее развиваются на молодой поросли, вырастающей от ствола или от корней.

Стебель ветвистый; ветви тонкие, прутьевидные, гибкие, ломкие, с матовой или блестящей корой, пурпурового, зелёного и других цветов. Почки также различного цвета, тёмно-бурые, красно-жёлтые и т. п.; наружные покровные чешуйки их взаимно сростаются своими краями в цельный колпачок, или чехлик, отделяющийся, при разрастании почек, у своего основания и спадающий тогда целиком. Верхушечная почка на ветвях обыкновенно отмирает, а соседняя к ней боковая даёт наиболее сильный побег и, так сказать, заменяет собою отмершую верхушечную почку.

Цветут некоторые из ив ранней весной до распускания листьев (например, *Salix daphnoides*), другие – в начале лета, одновременно с появлением листьев или даже позже (например, *Salix pentandra*).

Цветки раздельнополые, весьма мелкие и сами по себе мало заметные; только благодаря тому, что они бывают собраны в густые соцветия (серёжки), отыскивать их нетрудно, а у ив, цветущих до распускания листьев, соцветия резко заметны. Серёжки однополые, или только с мужскими, или только с женскими цветками; мужские и женские серёжки появляются на различных особях: ива в полном смысле слова растения двудомные. Строение цветков в общем однотипно: в мужских по две тычинки, в женских по одному пестику, в тех и других имеются нектарники [1].

Плод – коробочка, вскрывающаяся двумя створками. Семя весьма мелкое, покрытое белым пушком, довольно лёгкое, свободно переносимое ветром на далёкие расстояния. На воздухе семена ивы сохраняют свою всхожесть в продолжение только нескольких дней; попав же в воду, на дно водных бассейнов, они сохраняют свою всхожесть в продолжение нескольких лет. В этом причина того, что высохшие каналы, пруды, илистая грязь, вычерпанная при очистке пруда или речки, иногда обильно покрываются в короткое сравнительно время ивовыми всходами. Молодой росток ивы очень слаб и легко заглушается травой, но растёт он очень быстро; древесные же ивы вообще в первые годы своей жизни растут необыкновенно быстро. В природе ивы размножаются семенами, в культуре же, главным образом – черенками и отводками; живая веточка ивы, кол, вбитый в землю, быстро укореняется.

*Хозяйственное значение и применение.* Корни ивы отличаются обильным развитием и многочисленными разветвлениями и потому особенно пригодны для укрепления рыхлых почв и песков (Шелюга, Ива каспийская). Разведением ивы с успехом пользуются при регулировании горных потоков, закреплении берегов каналов и рек, откосов плотин (ива белая, ива ломкая), обрывов и скатов. В противоэрозионных насаждениях в лесостепных и степных районах (ива белая, ива ломкая, ива прутьевидная), для полезащитных и придорожных лесных полос на более влажных почвах, для задержания передвижения летучих материковых песков[3].

Промышленное значение как источник «ивового корья» имеют и многие другие ивы, в том числе ива трёхтычинковая (*Salix triandra* L.), ива пяти тычинковая (*Salix pentandra* L.), ива ушастая (*Salix aurita* L.), ива росистая (*Salix rorida* LACKSCH.), ива мириколистная (*Salix myrsinifolia* SALISB.) и др.

Кроме танинов кора ивы содержит ряд других ценных соединений, которые могут быть использованы в хозяйственных целях:

Кора ивы белой содержит химический предшественник ацетилсалициловой кислоты – салицин, с которым связан ряд ее свойств: жаропонижающее, обезболивающее, потогонное и препятствующее тромбообразованию. Салициловая кислота была впервые обнаружена именно в иве, отсюда происходит и её название.

Кроме того, в коре ивы содержатся флавоноиды, смолы, витамин С и др.



В листьях некоторых видов содержатся салидрозид, флавоноиды, дубильные вещества. Из флавоноидов преобладают производные лютеолина, обладающие противовирусным действием. В медицинской практике используют листья ивы остролистной (*Salix acutifolia* Willd.) для получения лютеолина-стандарта и лютеолин-7-глюкозида-стандарта<sup>1</sup>. Известно, что количественное содержание БАВ (биологически активных веществ) в коре и листьях ивы может меняться в различные фазы вегетации и зависит от условий их произрастания [4].

Быстрорастущие древесные культуры семейства Ивовые (*Salicaceae*) получают большое распространение на плантациях Мира. В Европе и США они используются на энергетические цели, а также находят применение и в качестве строительных материалов, медоносов, мелиорантов, для проведения фитореабилитации загрязненных и нарушенных территорий и т.д. Внедрение энергетических плантаций на основе быстрорастущих древесных культур позволяет снизить нагрузку на окружающую среду, в том числе внести вклад в решение одной из ключевых экологических проблем – борьбе с изменением климата.

**Заключение.** Таким образом, результаты наших исследований позволяют сделать следующие выводы:

– Природные растительные соединения, несмотря на активное производство синтетических материалов являются перспективным сырьем для различных отраслей экономики, что определяется не только экологическими, но и экономическими и технологическими причинами. В частности природные танины имеют ряд преимуществ при использовании их для производства препаратов для борьбы с ржавчиной;

– Перспективным источником танинов в наших условиях являются растения ивы. Это обуславливается значительным содержанием танинов в биомассе ивы и высокой продуктивностью культуры, прежде всего на короткоцикловых плантациях;

– Представленный в статье обзор экологических и биологических особенностей разных видов ивы доказывают высокую пластичность культуры. Это значит, что биомассу ивы и следовательно танины и другие полезные соединения можно получать в широком ареале, в различных экологических условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступ: <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа: 15.02.2023.
2. Исламбеков, Ш.Ю. Растительные дубильные вещества / Ш.Ю. Исламбеков, С.М. Каримджанов, А.К. Мавлянов // Химия природных соединений. – 1990. – № 3. – С. 293–307.
3. Копица, В. Н. Вредители промышленных энергетических плантаций быстрорастущей ивы в условиях Республики Беларусь / В. Н. Копица, О. И. Родькин, О. А. Шкутник. – Минск, журнал Экологический вестник. – № 7. – 2020.
4. Правдин, Л. Ф. Ива, ее культура и использование / Л. Ф. Правдин. – М.: Москва-Логас. – 1952. – 384 с.
5. Родькин, О. И. Производство возобновляемого биотоплива в аграрных ландшафтах: экологические и технологические аспекты: монография / О. И. Родькин. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 22 с.

## ОБЪЕКТИВНЫЕ И СУБЪЕКТИВНЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЁМАХ OBJECTIVE AND SUBJECTIVE ASPECTS OF WATER QUALITY ESTIMATION IN SURFACE WATER BODIES

**Б. В. Адамович<sup>1</sup>, Г. Бабаян<sup>2</sup>**  
**B. V. Adamovich<sup>1</sup>, G. Babayan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, г.Минск, Беларусь,  
[belqualab@gmail.com](mailto:belqualab@gmail.com)  
Belarusian State University, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА, Ереван, Армения  
Center for Ecological-Noosphere Studies NAS, Yerevan, Armenia  
[gayane.babayan@cens.am](mailto:gayane.babayan@cens.am)

На примере Нарочанских озер (Беларусь) проведены исследования по оценке качества воды для водоемов Беларуси, учитывающей заинтересованность различных пользователей. Анализ многолетних изменений качества воды, показывает, что в последний 15-летний период качество воды является наиболее приемлемым с точки зрения критериев, обозначенных группой экспертов. Это период может рассматриваться как «эталонный» (reference state). Отмечено, что качество воды более широкое понятие, чем трофический статус, и должно учитывать особенности водопользования в каждом озере и приоритеты развития его экосистемы.

The water quality of the Naroch Lakes (Belarus) is assessed. The assessment is the example, taking into account the interest of various users. An analysis of long-term changes of water quality shows that the last 15-year

period is the most acceptable in terms of criteria identified by a group of experts. This period can be considered as a «reference» state. It is noted that water quality is a broader concept than trophic state, and should take into account the characteristics of water use and the development of the ecosystem.

*Ключевые слова:* качество воды, водные экосистемы, трофический статус.

*Keywords:* water quality, aquatic ecosystems, trophic status.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-125-128>

«Качество воды» (water quality, WQ) – это термин, который широко используется в многочисленных научных публикациях и нормативных документах. Смысл установления значений экологического норматива качества поверхностных вод заключается в обосновании обязательного уровня качества воды для конкретных водных объектов. Такой уровень должен соответствовать составу и свойствам воды в водных объектах при оптимальных условиях функционирования их экосистем и характеризоваться определенными значениями гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических и бактериологических показателей, а также содержанием в ней приоритетных веществ токсического и радиационного действия. Таким образом, норматив качества воды – это научно обоснованные значения экологических показателей, которые отражают состояние, присущее естественным водным объектам (фоновое, первичное) или же типичное экологическое состояние, присущее искусственно созданным и сильно преобразованным естественным водным объектам (каналы, водохранилища). Принятые нормативы определяют цели водоохранной деятельности по улучшению или сохранению экологического благополучия в водных объектах. Но представление о качестве воды может быть достаточно спорным. Так, для администрации промышленных и сельскохозяйственных предприятий определяющее значение имеет количество загрязняющих выбросов, с которыми водоем может «справиться», поскольку мероприятия по очистке воды достаточно затратны. Для рыбной промышленности необходимо такое качество воды, при котором будет получена наибольшее количество рыбопродукции, то есть водоем должен характеризоваться отсутствием ядовитых соединений и содержать оптимальное для рыбоводства количество питательных веществ. Питьевая вода должна быть безопасна для человека и иметь хорошие органолептические свойства. Любители природы предпочли бы качество воды, соответствующее естественному (природному) состоянию водоема. Для подобных случаев установление индексов качества воды позволит достичь компромисса при разработке стратегии использования водного объекта.

На примере озер Нарочанской группы (рис.1.) были проведены исследования по оценке качества воды (т. е. создание системы показателей качества воды и их допустимых диапазонов), учитывающей заинтересованность различных пользователей.

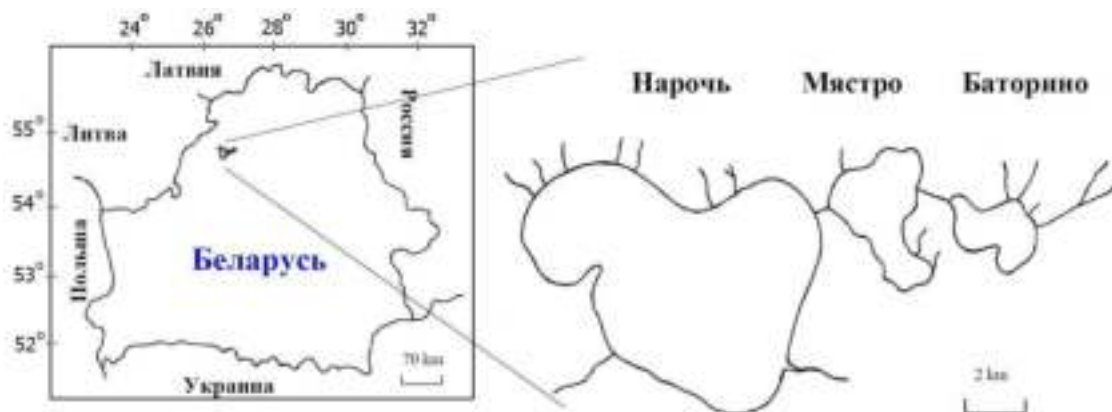
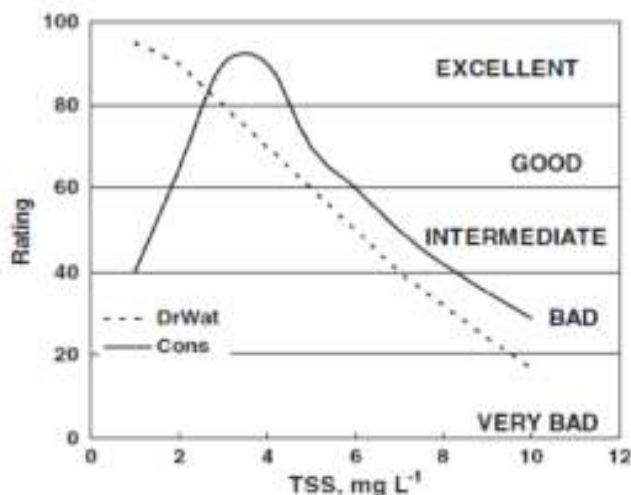


Рисунок 1 – Расположение Нарочанских озер

Мы применили принцип, основанный на количественных модификациях метода экспертной панели и подробно описанный в отношении оз. Киннерет, Израиль [1, 2]. В рамках этого подхода, соотношение между экологическими показателями (например, концентрацией питательных веществ или прозрачностью по диску Секки) и некоторым числовым значением рейтинга ( $0 < R < 100$ ) было установлено в форме кривой рейтинга (рис. 2).

Нами предложена панель экспертов для Нарочанских озер, состоящая из 9-ти специалистов. Эксперты принадлежат к различным специальностям, но обладают хорошими знаниями о данной экосистеме, а также имеют непосредственное отношение к Нарочанскому региону. Основной областью деятельности 3-х экспертов является гидроэкология, 2-х – управление особо охраняемыми природными территориями, 2-х – рыбное хозяйство, одного – водные ресурсы и одного – мониторинг окружающей среды. Большинство из них в настоящее время входит в научно-технический совет ГПУ НП «Нарочанский». Экспертами были отобраны следующие показатели: общий фосфор, общий азот, хлорофилл, прозрачность по диску Секки, биомасса фитопланктона, процент цианобактерий в биомассе, содержание кислорода у дна, площадь покрытия воздушно-водными макрофитами. Выбраны приоритеты использования ресурсов и развития экосистем озер и построены рейтинговые кривые для каждого из выбранных

показателей по каждому из модельных озер. Каждому значению показателя эксперты присвоили индекс качества ( $R$ ):  $100 \geq R \geq 80$  – отлично,  $80 > R \geq 60$  – хорошо,  $60 > R \geq 40$  – удовлетворительно,  $40 > R \geq 20$  – плохо,  $20 > R \geq 10$  – очень плохо. Для анализа динамики и современного состояния качества воды в соответствии с предложенным подходом использованы данные полевых наблюдений. Расчет индекса по каждому показателю ( $R_n$ ) проводили по методике, предложенной для оз. Кинерет [4]. Расчет индекса по указанной методике осуществляется путем аппроксимации кривой индекса двумя линиями линейной регрессии. Индекс качества воды для каждого из озер (NWQI – Naroch water quality index) рассчитан как среднее рейтингов для отдельных показателей  $R_n$ .



Здесь: общее количество взвешенных веществ (TSS) для различных видов использования воды: сохранение экосистемы (Cons) и снабжение питьевой водой (DrWat), созданная группой экспертов для оз. Кинерет. Приемлемый WQ соответствует  $60 < R < 100$  (от «ХОРОШО (GOOD)» до «ОТЛИЧНО» (EXCELLENT)).

Рисунок 2 – Формы рейтинговых кривых, связывающих количественное значение качества воды (Rating) со значением индекса качества воды (Из: [3])

Для установления рейтинговых значений выбранных показателей мы использовали два подхода:

- 1) значения показателей, характеризующих оптимальное состояние качества воды, были выбраны экспертами;
- 2) использованы значения показателей в период оптимального (референсного) состояния.

В качестве референсного состояния мы использовали период 2000–2010 гг. Этот период выбран большинством экспертов. Такой выбор обусловлен рядом причин. С начала 1980-х гг. отчетливо выражено снижение трофности всех трех озер, что делает проблематичным использование периода в этот временной интервал в качестве референсного, так как это состояние, очевидно, является переходным. За период с 1947 по 1978 гг., к сожалению, мы не располагаем данными по ряду показателей, выбранных экспертами. Имеющиеся данные за этот период являются отрывочными и не позволяют объективно рассчитать индексы качества воды. Показатели в выбранный нами период с 2000 по 2010 гг. являются относительно устойчивыми на протяжении длительного времени, а их величины, по большей части, согласуются с экспертными оценками «хорошего» качества воды.

Сравнение двух вариантов индексов (Mann-Whitney U-test) показывает, что ни в одном из озер нет отличия между двумя вариантами. Сравнение индексов качества воды между озерами показывает, что только озера Нарочь и Мясстро отличаются между собой ( $p = 0.032$ ) по индексу, рассчитанному в соответствии с критериями референсного состояния.

Для всех трех модельных озер качество воды существенно улучшилось в сходных временной интервал – с середины 1980-х по первую половину 1990-х гг. В целом, наиболее благополучная картина характерна для оз. Нарочь, где NWQI до начала 1990-х гг. был в районе 60 баллов, и потом значительно вырос и в последние 20 лет был выше 60-балльной границы. В оз. Мясстро и Баторино с конца 1970-х по конец 1980-х гг. средние за сезон показатели были ниже 50 баллов и в отдельные месяцы указывали даже на «плохое» качество воды, но в последний 20-летний период среднесезонные значения NWQI в этих озерах всегда были выше 60 баллов. При этом значения NWQI в отдельные месяцы могут выпадать из области оптимальных значений и указывать на кратковременное снижение качества воды.

В целом, анализ многолетних изменений качества воды, показывает, что в последний 15-летний период, как качество воды, так и стабильность показателей его определяющих являются наиболее приемлемыми с точки зрения критериев, обозначенных группой экспертов. Это период может рассматриваться как «эталонный» (reference state).

Трофический статус является ключевой характеристикой состояния озерной экосистемы и часто рассматривается как аналог показателя качества воды. Однако, такой подход не учитывает относительности понятия качества воды в соответствии с потребностями разных водопользователей. Вопрос связи трофического статуса

и качества воды, оцененного по предложенной методики, без сомнения, представляет, как научный, так и практический интерес и позволяет оценить влияние изменения биологической продуктивности водной толщи на качество вод. Результаты такого анализа интересны также с методической точки зрения, т. к. оба показателя (численное выражение трофического статуса и численное выражение качества воды), по нашему мнению, должны постепенно интегрироваться в систему мониторинга и экологической оценки водоемов, важных с хозяйственной и природоохранной точек зрения.

Корреляционный анализ показывает связь между качеством воды, оцененным по NWQI и трофическим статусом, оцененным по индексу трофического состояния, TSI [5]. Коэффициент корреляции Спирмена между этими показателями, хоть и был статистически значим ( $p = 0,0005$ ) но составил всего -0,32, что, по нашему мнению, свидетельствует о слабой связи.

Проведенные исследования показали, что трофический статус нельзя рассматривать как аналог качества воды, хотя связь этих показателей, безусловно, существует. В расчет обоих индексов (NWQI и TSI) входят в случае наших озер три одинаковых показателя – общий фосфор, хлорофилл и прозрачность по диску Секки. Очевидно, что качество воды более широкое понятие, чем трофический статус, к тому же учитывающее особенности водопользования в каждом озере и приоритеты развития его экосистемы. В общем смысле понятие трофического статуса существует в природе вне зависимости от отношения к нему человека, в то время как качество воды может рассматриваться только через призму отношения человека к конкретному объекту.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Научного комитета РА в рамках совместного исследовательского проекта SC 21 и B21APM-027.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Hambright, K.D.H.* Indices of water quality for sustainable management and conservation of an arid region lake, Lake Kinneret (Sea of Galilee), Kinneret. Aquatic Conservation / K.D.H. Hambright, A. Parparov, T. Berman // *Marine and Freshwater Ecosystems*. – 2000. – Vol. 10. – P. 393–406.
2. *Parparov, A.* Assessment and implementation of a methodological framework for sustainable management: Lake Kinneret as a case study / A. Parparov, G. Gal // *Journal of Environmental Management*. – 2010. – Vol. 101. – P. 111–117.
3. *Parparov, A.* Water Quality Quantification: Basics and Implementation / A. Parparov, K.D. Hambright, L. Hakanson, A. Ostapenia // *Hydrobiologia*. – 2006. – Vol. 560. – P. 227–237.
4. *Gal, G.* Development and application of a sustainability index for a lake ecosystem / G. Gal, T. Zohary // *Hydrobiologia*. – 2017. – Vol. 800. – P. 207–223.
5. *Adamovich, B.V.* Long-term changes of trophy state index of Naroch Lakes and its connection with the main hydrogeological parameters / B.V. Adamovich, T.V. Zhukova, T.M. Mikheyeva, R.Z. Kovalevskaya, E.V. Lukyanova // *Water Resources*. – 2016. – Vol. 43, iss. 5. – P. 809–817.

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ANALYSIS OF THE APPLICATION OF A SELECTIVE SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT OF POTASH DEPOSITS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

**П. П. Делянко<sup>1,2</sup>, В. М. Мисюченко<sup>1,2</sup>**

**P. P. Dzelianko<sup>1,2</sup>, V. M. Misiuchenka<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
dzelpolina@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

В данной статье рассмотрено обращение с отходами калийных производств в Республике Беларусь на примере ОАО «Беларуськалий». Проанализирована динамика образования отходов переработки руды первого рудоуправления за последние 5 лет. В 2022 году образование данных отходов резко снизилось, за счет уменьшения объемов добычи. Рассмотрено применение системы селективной разработки с закладкой галита в выработанное пространство лав. Определено, что эффективность этого метода за последние годы повысилась, что связано с улучшением качества руды, снижением просадки земных пород. В то же время метод имеет ряд недостатков таких как сложная организация труда, связанная с разделением выемки сильвинитовых



и галитовых слоев. А также этот метод добычи требует определенных технических решений и оборудования, что делает себестоимость метода более высокой. С увеличением глубины добычи применение метода затрудняется, так как из-за повышенного давления увеличивается вероятность возникновения неисправностей оборудования.

The article considers the content of waste management of potash production in the Republic of Belarus on the example of JSC Belaruskali. The dynamics of the generation of ore processing waste of the first production unit over the past five years is considered. In 2022, the generation of these wastes decreased, due to a decrease in potash ore production. The application of a selective development system with the laying of halite in the developed space is considered. It is determined that the effectiveness of this method has increased in recent years, which is associated with an improvement in the quality of ore, a decrease in land subsidence. At the same time, the method has a number of disadvantages, such as the complex organization of labor associated with the separation of the excavation of silvinit and halite layers. And also this method of extraction requires certain technical solutions and equipment, which makes the cost of the method higher. With an increase in the depth of production, the application of the method becomes more difficult, since due to increased pressure, the probability of equipment malfunctions increases.

*Ключевые слова:* калийные производства, галитовые отходы, глинисто-солевые галитовые шламы сильвинитовая руда; система селективной выемки, добыча калийных руд.

*Keywords:* potash production, halite waste, clay-salt belite sludge silvinit ore; selective excavation system, potash ore mining.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-128-131>

Отходы производства калийных удобрений и их влияние на окружающую среду являются общей проблемой калийных производств во всем мире. Основные экологические проблемы как правило связаны с:

- нарушением земель в результате строительства и эксплуатации крупных сооружений для хранения отходов (шламохранилища, солеотвалы)

- загрязнением подземных и поверхностных вод рассолами и отходами производства разной фракции и др.

Большое внимание уделяется безопасности и природоохранным мерам, предпринимаемым в местах хранения, так как недостаточность этих мер может привести к авариям, последствия которых могут достигать масштабов, выходящих за пределы объекта.

В международной литературе выделяют такие методы утилизации отходов как:

- Сброс отходов в реки и океаны с предшествующим удалением загрязняющих веществ

- Укладка соляных отвалов в штабеля

- Хранение шламов, рассолов, технических вод в специальных плотинах или бункерах для отстаивания и осветления и другие методы.

Возможность применения того или иного метода зависит от характера отходов и места их хранения и иных факторов. Например, вышеуказанный сброс отходов в водоемы осуществляется только под обязательным контролем и с применением систем мониторинга. Ведется постоянный контроль уровней загрязняющих веществ в воде для гарантирования безопасности водной экосистемы [1].

В Республике Беларусь каждый год образуется более 1,4 тысяч видов отходов [2]. Значительную долю в их образовании занимают галитовые отходы и глинисто-солевые шламы. Нами проанализировано обращение с данными отходами калийных производств на примере ОАО «Беларуськалий».

Основными источниками образования отходов производства ОАО «Беларуськалий» являются процессы переработки сильвинитовой руды, эксплуатация оборудования, автотранспорта и конвейерного транспорта, профилактика и ремонт оборудования, демонтаж отработанного оборудования и конструкций и др. Нами рассмотрено обращение с отходами переработки руды первого рудоуправления.

Процесс переработки руды состоит из следующих стадий:

- Дробление сильвинитовой руды.

- Измельчение дроблёной руды с предварительной и поверочной классификацией.

- Обесшламливание питания сильвиновой флотации.

- Сильвиновая флотация и раздельная флотация мелкой фракции.

- Классификация и обезвоживание галитовых отходов флотации.

- Сгущение шламовых отходов производства.

- Классификация, обезвоживание и сушка калия хлористого.

- Получение полуфабриката калия хлористого мелкого.

- Получение полуфабриката гранулированного хлористого калия.

- Складирование и отгрузка мелкого, гранулированного хлористого калия.

- Удаление и складирование галитовых отходов, шламов галитовых-глинисто-солевых.

В результате процесса переработки руды образуются основные отходы производства: твердые галитовые отходы (массовая доля KCl 2,66%, массовая доля нерастворимого остатка 1,83 % в расчёте по сухому веществу),

и шламы галитовые глинисто-солевые (массовая доля KCl в разгрузке шламовых сгустителей 12,47 %, массовая доля н.о. 56,49 % в расчёте по твёрдому веществу).

С 2018 по 2021 года наблюдалась тенденция увеличения образования отходов производства калийных удобрений (Рис. 1.).



Рисунок 1 – Образование отходов ИПУ 2018–2022 гг., тонн

В результате анализа документации выявлено, что всего в 2021 году было образовано более 10,5 миллионов тонн отходов, что на  $\approx 1\,045\,869$  т больше показателя 2018 года. Из них около 90% приходится на галитовые отходы (хвосты, кек) и 10 % на галитовые, глинисто-солевые шламы. Образование шламов за этот период возросло почти в 1,5 раза. Образование галитовых отходов до 2021 года также увеличивалось, однако в 2019 году был небольшой спад приблизительно на 52 тыс. т. В сравнении с 2019 годом количество галитовых отходов в 2021 году возросло в  $\approx 1,2$  раза. В следующем 2022 году, произошел резкий спад количества образованных отходов почти в 3 раза и их объем составил всего лишь порядка 4 миллионов тонн. Этот спад объясняется уменьшением объемов добычи руды и производства удобрений, из-за уменьшения рынка сбыта.

Все приведенные виды отходов отправляются на хранение следующим образом.

Твердые галитовые отходы из отделения фильтрации системой конвейерных линий подаются на ленточные конвейеры отделения отвалов и хвостового хозяйства, подающие отходы к отвалообразователям для их складирования на солеотвале 1 Рудоуправления. Шламы галитовые глинисто-солевые, разбавляются оборотными рассолами и транспортируются на шламохранилища в соответствии с технологическим регламентом. Подача шламов галитовых глинисто-солевых к месту складирования осуществляется напорным гидротранспортом по линиям шламопроводов.

Площадь, занятая солеотвалами на 2021 год, составила 691,97 га (всего отведено – 1149,91 га). Общее количество галитовых отходов на солеотвалах четырех рудоуправлений на конец 2020 года составило свыше 1 миллиона тонн. Площадь, занятая шламохранилищами, на 2021 год составила 1144,27 га и всего в шламохранилищах было накоплено 128292,3 тыс. тонн шламов.

В пределах Старобинского месторождения залегает четыре сильвинитовых пласта (горизонта). Они характеризуются сложным строением, представляющим собой слои пород сильвинита мощностью до 1,5 м [3], каменной соли (галита), прослоек глины, которые чередуются между собой. Разработка ведется на глубине от 350 до 1000 м [4].

На данный момент предприятие использует такие системы разработки месторождения как:

- Камерные
- Столбовые (в том числе с валовой выемкой выемкой руды)
- Комбинированная [5]

Активно применяется селективная система разработки калийных месторождений с закладкой галита в выработанное пространство лав. Система является основным методом снижения объемов галитовых отходов, складироваемых на земной поверхности. Также это позволяет снизить просадку земной поверхности в результате ведения горных работ. За 2020 год на всем предприятии выдано порядка 9 миллионов тонн сильвинитовой руды, и закладировано чуть более 2 миллионов тонн галита, что составляет 24,5 % от общего количества сильвинитовой руды образованной на предприятии. Эффективность добычи селективным методом с каждым годом увеличивается, несмотря на определенные изменения объемов добычи руды. В 2020 году объем складированного галита в пространстве выработанных лав от общего количества руды, добытой данным методом возросло с 21 % до 23 %. В 2021 году эта цифра возросла до  $\approx 25$  % и показатель не менялся до 2022 года, где объем складированного галита составил почти 26 %. В то время как общий объем добычи резко снизился.

При применении системы разработки с селективной выемкой сильвинитовых и галитовых слоёв с закладкой галита в выработанное пространство, в лаве ведётся раздельная выемка сильвинитовых слоёв и слоя каменной соли. Галит не выдается на поверхность, а забрасывается закладочными машинами в отработанное пространство.

Всего на первом рудоуправлении (без учета Березовского рудника 1РУ) действуют две селективные лавы. За последние 3 года наблюдалась следующая динамика добычи руды селективными лавами первого рудоуправления (Рис. 2).

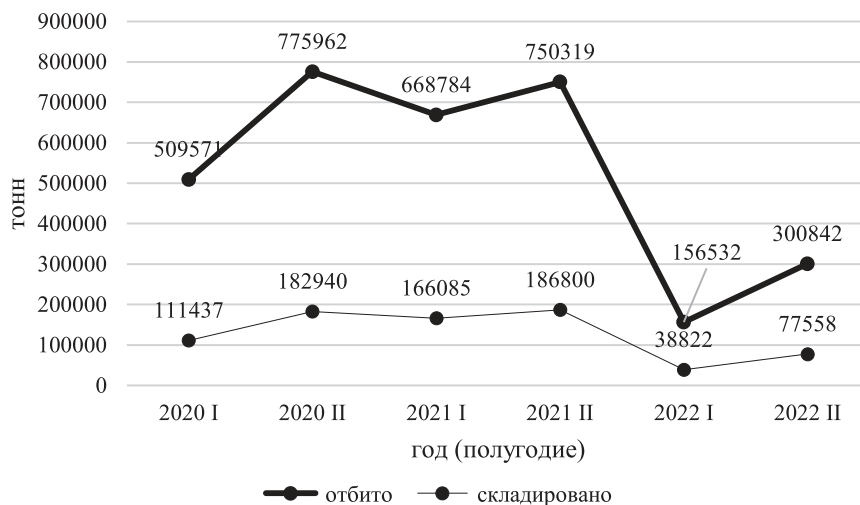


Рисунок 2 – Добыча руды селективными лавами на 1РУ, тонн

Помимо таких позитивных сторон как: улучшение качества руды, путем повышения содержания полезного компонента, снижения просадки земных пород, метод имеет ряд недостатков.

Система селективной выемки требует сложной организации труда. Из-за разделения выемки сильвинитовых и галитовых слоев процесс добычи полезного сырья замедляется, так как при использовании данного метода происходит выемка одной полосы в несколько проходок комбайна. Таким образом снижается общая производительность. Кроме того такой метод добычи требует определенных технических решений и оборудования, что делает себестоимость метода более высокой. С увеличением глубины добычи применение метода затрудняется, так как из-за повышенного давления увеличивается вероятность возникновения неисправностей оборудования. Существует необходимость в определенном техническом перевооружении. Таким образом по этим и другим причинам более часто применяют валовую выемку руды, в ходе которой извлекается всех пород.

Однако валовая выемка имеет ряд своих недостатков. Из-за содержащихся в руде прослоев пустой породы, снижается качество добытого сырья, поскольку содержание полезного компонента калийной соли в рудной массе низкое. Требуются дополнительные затраты на транспортировку руды на поверхность, а также на обогащение руды на обогатительных фабриках рудоуправлений. Помимо всего перечисленного, применение такого метода ведет к увеличению площади солеотвалов.

Таким образом система селективной выемки сильвинитовых и галитовых слоев с закладкой галита имеет ряд преимуществ как для упрощения производственных процессов, так и для улучшения экологической ситуации в районах разрабатываемых месторождений. Данный метод в перспективе может иметь более широкое применение, но требует выполнения множества технических условий, что несколько усложняется экономической ситуацией.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. UNEP Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining / UNEP . – Paris, 2020. – 61 p.
2. Отходы производства и потребления [Электронный ресурс]: Н.Б. Кичаева, Т.И. Масловская, А.С. Гавдель, Отходы производства и потребления // Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология» – Режим доступа: <https://www.ecoinfo.by/content/148.html>
3. Сиренко, Ю. Г. Повышение безопасности работ при селективной отработке калийных пластов короткими очистными забоями с частичной закладкой камер / Ю. Г. Сиренко – Санкт-Петербург, 2019. – 2с.
4. Бондарев, К. А. Разработка технологических схем выемки IV калийного пласта в условиях многогоризонтной отработки Старобинского месторождения / К. А. Бондарев – Санкт-Петербург, 2019. – 22с.
5. Технология ведения горных работ [Электронный ресурс]: Технология ведения горных пород, технология добычи руды // ОАО «Беларуськалий» – Режим доступа: [https://kali.by/production/technology/technology\\_of\\_mining/](https://kali.by/production/technology/technology_of_mining/)

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И ПТИЦЕВОДСТВЕ НА ФОНЕ «УГЛЕРОДНЫХ ВЫБРОСОВ»

## STUDY OF STRATEGIES TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN LIVESTOCK AND POULTRY PRODUCTION AGAINST THE BACKDROP OF “CARBON EMISSIONS”

**Янь Ли<sup>1,2</sup>, В. О. Лемешевский<sup>1,2,3</sup>**

**Yan Li<sup>1,2</sup>, V. Lemiasheuski<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
1097401809@qq.com

<sup>3</sup>Всероссийский НИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФГБНУ «ФИЦ животноводства – ВИЖ им. ак. Л. К. Эрнста», Боровск, Российская Федерация

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after academy member L. K. Ernst,  
Borovsk, Russian Federation

При непрерывном выбросе парниковых газов парниковый эффект продолжает усиливаться, непосредственно угрожая экономическому развитию и экологической безопасности. Глобальным консенсусом стало содействие развитию низкоуглеродной экономики и контролю выбросов парниковых газов. Животноводство и птицеводство долгое время были одной из основных отраслей, выбрасывающих парниковые газы. Важным фактором, стимулирующим внедрение «углеродных выбросов», является контроль выбросов парниковых газов от животноводства и птицеводства. На основе анализа факторов, влияющих на выбросы парниковых газов в животноводстве и птицеводстве, в данной статье предлагаются технические меры по сокращению выбросов парниковых газов в животноводстве и птицеводстве для продвижения экологичного и низкоуглеродного производства в животноводстве и птицеводстве.

With continuous greenhouse gas emissions, the greenhouse effect continues to increase, directly threatening economic development and environmental security. The global consensus has been to promote a low-carbon economy and control greenhouse gas emissions. Livestock and poultry have long been one of the main greenhouse gas-emitting industries. The control of greenhouse gas emissions from livestock and poultry production is an important factor stimulating the implementation of «carbon emissions». Based on the analysis of factors affecting greenhouse gas emissions in livestock and poultry production, this paper proposes technical measures to reduce greenhouse gas emissions in livestock and poultry production to promote environmentally friendly and low-carbon production in livestock and poultry production.

**Ключевые слова:** выбросы углерода, парниковые газы, экологическая безопасность, технические меры.

**Keywords:** carbon emissions, greenhouse gases, environmental safety, technical measures.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-132-134>

**Введение.** С начала XXI-го века глобальные выбросы углерода быстро увеличиваются, проявляясь в постоянном росте выбросов парниковых газов. В результате эффект глобального потепления продолжает усиливаться, и часто происходят экстремальные погодные и климатические явления, которые не только влияют на человека, сельское хозяйство и жизнь, но также влияют на глобальную экономику.

Изменение баланса экосистемы и биобезопасность представляет непосредственную угрозу для существования человека. Таким образом, углеродный пик и углеродная нейтральность стали центром внимания во всем мире. Согласно статистике Всемирного банка (IBRD-IDA), в течение 2019 года на территории Беларуси в окружающую среду было выброшено в общей сложности 1.72 млн тонн парниковых газов (оксидов). Таким образом, в рамках общего направления глобальной зеленой и низкоуглеродной трансформации назрела стратегическая необходимость проведения исследования выбросов углерода в Республике Беларусь.

Основным источником выбросов парниковых газов является сельское хозяйство, в частности животноводство и птицеводство. Выбросы углерода в животноводстве стали важной проблемой, влияющей на его устойчивое развитие, а также ключевым препятствием для развития «зеленой» экономики с низким уровнем выбросов



углерода. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAO) на долю кишечной ферментации у скота и птицы, а также при обращении с навозом приходится около 18 % глобальных выбросов парниковых газов. Согласно статистике, за период с 2018 по 2022 год, поголовье скота и птицы в Беларуси показывает восходящую тенденцию (табл.).

Таблица

*Поголовье скота и птицы по типам хозяйств с 2018 по 2022 гг. (на начало года), тыс. голов*

|                             | 2018     | 2019     | 2020     | 2021   | 2022    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|--------|---------|
| Крупный рогатый скот, всего | 8716.2   | 8674.2   | 8582     | 8575.4 | 8465.1  |
| в том числе коровы          | 2996.1   | 2989.4   | 2983.6   | 2966.3 | 2913.2  |
| Свиньи                      | 6261.1   | 5985.9   | 5706.8   | 5690.1 | 5053.9  |
| Овцы                        | 177.1    | 171.1    | 169.5    | 174.4  | 165.4   |
| Козы                        | 126.3    | 122.3    | 115.5    | 114.7  | 106.9   |
| Лошади                      | 87.9     | 76       | 65.9     | 58     | 52      |
| Птица                       | 101427.9 | 102345.4 | 106011.2 | 95063  | 96217.4 |

Как видно из представленной таблицы, животноводство и птицеводство, выступает опорной отраслью сельского хозяйства Республики Беларусь и также является сферой, связанной с народным хозяйством и жизнедеятельностью населения. Однако принося пользу наблюдается в значительной степени давление на окружающую среду. Исследования по этому вопросу могут способствовать реализации целей по достижению пика углерода и углеродной нейтральности, созданию низкоуглеродной и экологически чистой системы животноводства и птицеводства, а также могут оказать содействие в развитии индустрии туризма, связанной с агропромышленным комплексом.

**Цель исследования** – обобщить опыт исследований, а также предложить контрмеры по содействию сокращения выбросов парниковых газов в животноводстве и птицеводстве при разведении птицы на основе опытных данных анализа производственного цикла и процесса разведения основных видов животных и птицы.

Эмиссия углерода в животноводстве и птицеводстве в основном связана с прямыми выбросами углерода, такими как выбросы от большого количества навоза, производимого в животноводстве и птицеводстве, выбросы углекислого газа и кишечного газа в результате дыхания и ферментации в ЖКТ скота и птицы, а также выбросы от различных отходов и загрязняющих веществ в процессе производства продукции животноводства и птицеводства. Однако нельзя игнорировать косвенные выбросы углерода и загрязнение окружающей среды, вызванные потреблением ресурсов. Кроме того, по видам животных, основным источником выбросов в животноводстве является крупный рогатый скот, образующий около 5 млрд. тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента, что составляет 62 % от общего объема выбросов в животноводстве. Мясной и молочный скот выбрасывают сопоставимое количество парниковых газов. Выбросы от свиней, домашней птицы и мелких жвачных животных значительно ниже и составляют от 7 % до 11 % от общего объема выбросов в животноводстве.

При анализе продукции производства, наибольшее количество выбросов приходится на говядину и коровье молоко – 3,0 и 1,6 гигаатонны (Гт) СО-экв. соответственно. За ними следуют свинина (0,82 (Гт СО-экв.), мясо и яйца кур (0,79 (Гт СО-экв.), буйволиное мясо и молоко (0,7 (Гт СО-экв.), мясо и молоко мелких жвачных (0,5 (Гт СО-экв.).

Анализ факторов, влияющих на выбросы углерода в отрасли животноводства и птицеводства, имеет большое значение для разработки политики сокращения выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве и управления его низкоуглеродным развитием. Эмиссия парниковых газов в животноводстве и птицеводстве распределяется по всему сельскохозяйственному циклу и в основном на этапах переработки кормов, разведения животных, обработки навоза и переработки продукции животноводства в соответствии с этапами производства, в основном включая CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> и т.д.

Во время периода роста и развития животных и птицы выбросы парниковых газов от строительства коровников (животноводческих помещений), кишечной моторики и навоза будут иметь динамику роста. Выбросы парниковых газов от этих четырех компонентов могут быть в разной степени сокращены при производстве продукции выращивания скота и птицы как за счет научного земледелия, так и за счет рационального использования ресурсов навоза.

Научное разведение в основном включает в себя разумное планирование строительства фермы, использование вспомогательного оборудования для разведения, организацию диетического кормления, а также отбор и разведение лучших пород скота. Рациональное планирование при строительстве фермы может эффективно снизить энергопотребление при раздаче кормов, уборке и транспортировке навоза и животноводческой продукции на территории фермы и избежать повышения выбросов парниковых газов при несоблюдении технологии. Научный подход позволит повысить эффективность производства, а подбор устройств для утилизации и очистки образуемых газов на ферме может эффективно снизить эмиссию парниковых газов в животноводческом помещении.

Разумная организация адекватного кормления и питьевого водоснабжения будет способствовать повышению эффективности использования кормов. Скармливание концентрированных кормов в научно обоснованных количествах может эффективно улучшить использование корма и снизить эмиссию парниковых газов из желудочно-кишечного тракта животных. Количество  $\text{CH}_4$ , выделяемого жвачными животными, положительно коррелирует с потреблением корма, поэтому адекватное потребностям животного потребление корма и их соотношение также является важным средством сокращения выбросов в сельском хозяйстве. Исследования показали, что выбросы  $\text{CH}_4$  наименьшие, когда соотношение концентрированных и грубых кормов в рационе составляет 4:6.

Количество производимых парниковых газов варьируется между породами животных, поэтому разведение лучших пород животных также является важной мерой по сокращению выбросов парниковых газов в животноводстве. Исследования показали, что соотношение затрат энергии к их ее отдаче составляет 14:1 для молочных коров, 50:1 для овец, 26:1 для кур-несушек и 17:1 для свиней, что отражает различную эффективность производства продукции выращивания среди животных различных пород, а значит выбросы парниковых газов также будут значительно отличаться.

Сокращение выбросов парниковых газов в животноводстве и птицеводстве должно осуществляться на основе научного земледелия, путем оптимизации структуры кормов и выращивания наиболее приемлемых пород скота и птицы для лучшего использования кормов; рационального планирования застройки территории фермы для сокращения расстояния сбора и перемещения навоза; правильного подбора сельскохозяйственного оборудования для повышения эффективности производства, а также хорошего сбора и очистки выхлопных газов в зданиях фермы, чтобы сократить выбросы парниковых газов и одновременно повысить эффективность производства в животноводстве.

Навоз используется посредством ферментативного брожения и переработки органических удобрений, ферментации и производства биогаза. Важно обратить внимание на хозяйствование навозом в процессе безвредной обработки для снижения выбросов парниковых газов. В процессе ферментации и переработки органических удобрений необходимо хорошо укрывать навоз, хранящийся под открытым небом. Исследования показали, что поверхностные покрытия снижают выбросы  $\text{CH}_4$  из жидкого навоза в среднем на 38 %, и что различные материалы покрытий, температура и методы переработки и хранения по-разному влияют на уровень выбросов приводя к их снижению.

В качестве подстилочного материала на практике применяют твердые ракушки природного происхождения, мелкую гальку и солому, что оказывает значительное влияние на снижение выбросов  $\text{CH}_4$ , особенно солома, которая обладает наилучшим мульчирующим эффектом.

Во-вторых, регулируется температура хранения навоза. Такие меры, как изоляция или закапывание емкостей для хранения навоза под землю, для поддержания более низкой температуры, обуславливает замедление скорости их разложения, позволяя эффективно сократить выбросы метана. В-третьих, используется твердая обработка навоза. Когда навоз животных хранится в твердой форме, он более проницаем и не способствует образованию  $\text{CH}_4$ . Разделение твердой и жидкой части и хранение в твердом виде при обработке навоза животных может снизить производство парниковых газов и уменьшить загрязнение атмосферы и почвы отходами животноводства. Чем дольше навоз животных хранится на фермах или в септиках, тем больше выделяется  $\text{CH}_4$ . Поэтому во время выращивания скота и птицы навоз следует как можно быстрее перерабатывать и повторно использовать на сельскохозяйственных угодьях, чтобы снизить выброс  $\text{CH}_4$  от навоза животных.

Биогазовые установки предполагают под собой полный пакет инженерных сооружений для анаэробной нитрификации навоза животных и сточных вод, производство биогаза и контроль загрязнения. Использование биогазовых метантенков для обработки навоза животных является эффективным способом сокращения выбросов  $\text{CH}_4$  от отходов животноводства и других экологических проблем. Производимый биогаз используется в бытовых и промышленных целях и позволяет эффективно сократить выбросы углерода. С точки зрения сокращения эмиссии парникового газа ( $\text{N}_2\text{O}$ ) из навоза животных. Снижение выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  от животноводства в целом мало изучено, а коэффициенты выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  от животных значительно различаются в зависимости от методов использования навоза. В частности, выбросы  $\text{N}_2\text{O}$  из навоза, хранящегося в анаэробных условиях, значительно ниже, чем при хранении в твердом виде и выпаса скота, поэтому анаэробная обработка навоза может быть одной из мер по снижению выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  от навоза.

**Заключение.** Выбросы парниковых газов от животноводства в основном сосредоточены в виде метана, закиси азота и двуокиси углерода. Среди этих парниковых газов преобладает метан, за ним следуют закись азота и углекислый газ. Эмиссия метана в основном происходит от жвачных животных, таких как крупный рогатый скот и овцы, за которыми следуют свиньи, и птица, такая как куры. Они поступают из кишечника и желудка после образования в результате ферментативного брожения у различных видов домашнего скота и птицы. Физиологические свойства в отношении активности ферментации домашнего скота и птицы могут быть снижены путем кормления рациональным кормлением и правильным подбором пород скота и птицы.

Отходы животноводства и птицеводства в основном разлагаются на метан в анаэробном состоянии и закись азота в состоянии компостирования. Усиление регулирования в процессе обработки навоза может эффективно сократить выбросы парниковых газов. Таким образом, в зависимости от характеристик эмиссии парниковых газов в животноводстве могут быть приняты различные меры для контроля их уровня, сокращения выбросов парниковых газов в животноводстве и содействия достижению углеродного пика в животноводстве и углеродной нейтральности.

# ЛОКАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

## LOCAL SOIL MONITORING AS A COMPONENT PART OF ENVIRONMENTAL POLICY OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

**С. Е. Головатый<sup>1</sup>, Е. А. Самусик<sup>2</sup>, Э. И. Садовская<sup>1</sup>, С. В. Савченко<sup>3</sup>**  
**S. E. Golovaty<sup>1</sup>, E. A. Samusik<sup>2</sup>, E. I. Sadovskaya<sup>1</sup>, S. V. Savchenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
sscience@yandex.ru

<sup>2</sup>Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus

<sup>3</sup>State Scientific Institution «Institute of Nature Management of the National Academy Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus

Экологическая политика промышленного предприятия является неотъемлемой частью его деятельности. К одному из направлений этой политики относится локальный мониторинг почв (грунтов), так как промышленные объекты выступают как источники химического загрязнения окружающей среды вследствие осуществляемой ими производственной деятельности. В связи с совершенствованием нормативно-правовой базы локальный мониторинг почв, проводимый на территории промышленных предприятий, постоянно развивается, оптимизируется и унифицируется. Детализируются промышленные производства и процессы, требующие наблюдений за почвами, изменяются подходы к выбору наблюдаемых показателей и пробных площадок, критерии оценки загрязнения земель и формы предоставления информации. В дальнейшем локальный мониторинг почв на территории промышленных объектов будет развиваться в сторону оптимизации и гармонизации с другими видами мониторинга, объектами наблюдения которых являются земли и почвы.

The environmental policy of an industrial enterprise is an integral part of its activities. One of the directions of this policy is local monitoring of soils, since industrial facilities act as sources of chemical pollution of the environment due to their production activities. In connection with the improvement of the regulatory framework, local soil monitoring, carried out on the territory of industrial enterprises, is constantly being developed, optimized and unified. Industrial productions and processes that require soil observations are detailed, approaches to the selection of observed indicators and test sites, criteria for assessing land pollution and forms of providing information are changing. In the future, local monitoring of soils on the territory of industrial facilities will develop towards optimization and harmonization with other types of monitoring, the objects of observation of which are lands and soils.

**Ключевые слова:** промышленные предприятия, экологическая политика, локальный мониторинг почв, пункты наблюдений, пробные площадки, химические вещества, критерии оценки.

**Keywords:** industrial enterprises, environmental policy, local soil monitoring, observation points, test sites, chemicals, evaluation criteria.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-135-139>

В настоящее время на каждом промышленном предприятии, которое стремится минимизировать негативное воздействие своей деятельности на компоненты природной среды и соответствовать требованиям международных и национальных стандартов в области экологии, должна проводиться экологическая политика, которая бы в полной мере соответствовала его производственной деятельности, предлагаемым услугам или выпускаемой продукции.

Промышленное предприятие должно принимать на себя обязательства в отношении системы управления качеством окружающей среды за счет идентификации экологических аспектов и связанных с ними воздействий на окружающую среду, учета требований законодательства, критериев оценки экологической эффективности производства, ограничения первопричин, приводящих к негативным воздействиям на компоненты окружающей среды производственной деятельности за счет более эффективного использования сырья и материалов.

Это обусловлено тем, что промышленные объекты являются источниками эмиссии в окружающую среду значительного количества загрязняющих веществ техногенного происхождения, которые поступают в атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы и растительность в составе выбросов, сбросов, сырья или отходов.

В частности, согласно данным [3], в пыли электрометаллургического и чугунолитейного производства концентрации кадмия достигает 1,04 и 182 мг/кг, свинца 332 и 2030-23200, меди – 306 и 183-2064, никеля – 54,2 и 340, цинка – 1977 и 112400 мг/кг соответственно.

С основным сырьем в процесс производства цемента может поступать до 7,1-7,6% меди, 8,8-15,0 – цинка, 28,3–44,0 – кадмия, 10,2-12,2% – свинца, с пиритными огарками 92,1-93,0% меди, 84,6-91,0 – цинка, 55,5-67,0 – кадмия, 87,6-89,6 – свинца, 49,6-55,9% – ртути [3]. В пыли цементного производства содержание поллютантов также высокое: от 0,21 до 219,1 мг/кг – кадмия, 642-3728,9 – свинца, 160-690,5 – цинка, от 31 до 1151 мг/кг – меди.

В отходах машиностроительного производства и строительном мусоре концентрации кадмия составляют 0,19 и 1,34 мг/кг, свинца – 16,5 и 22,9, меди – 43,6 и 31,8, никеля – 14,9 и 13,0, цинка – 122,4 и 110,7, хрома – 1127 и 65,5 мг/кг соответственно [3].

Для наблюдений и контроля за экологическим состоянием природной среды, в том числе в районе промышленных объектов, в нашей стране функционирует Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС), которая включает 13 видов мониторинга, охватывающих наблюдения за всеми компонентами природной среды.

Мониторинг земель как система постоянных наблюдений за состоянием земель и их изменением под влиянием природных и техногенных факторов начал формироваться в Беларуси после принятия в 1991 г. Советом Министров Республики Беларусь Постановления № 508 «О порядке ведения государственного земельного кадастра и мониторинга земель», которое устанавливало общий порядок ведения мониторинга земель на государственном уровне и определяло регламент сбора, хранения и представления мониторинговой информации.

С принятием в 1993 г. Постановления Совета Министров Республики Беларусь № 247 «О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС)» и Государственной Программы по развитию национальной системы мониторинга окружающей среды мониторинг земель стал отдельным видом НСМОС.

За прошедшие десятилетия развитие системы мониторинговых наблюдений на территории нашей страны, проводимых в рамках НСМОС, расширило рамки объектов наблюдений и наблюдаемых показателей. Эти изменения коснулись всех компонентов природной среды, в том числе земель и почв.

Расширение знаний об экологическом состоянии земель и их загрязнении химическими веществами техногенного происхождения вызвало необходимость в развитии мониторинговых исследований на локальном уровне. В этой связи с 2007 г. в Беларуси в составе локального мониторинга окружающей среды НСМОС стал проводиться локальный мониторинг земель в районе расположения существующих и потенциальных источников их загрязнения, к которым относятся преимущественно промышленные объекты. Данный вид мониторинга осуществляется в соответствии с законодательством Беларуси, которое также развивается и совершенствуется.

Первая редакция Инструкции, составной частью которой явился мониторинг земель, имела название «Инструкции о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды юридическими лицами, осуществляющими эксплуатацию источников вредного воздействия на окружающую среду», которое в последствие претерпело ряд изменений и в настоящей редакции формулируется как «Инструкция о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды» (далее – Инструкция). Вместе с Инструкцией в 2007 г. был утвержден Перечень юридических лиц, осуществляющих проведение локального мониторинга окружающей среды. В дальнейшем перечень юридических лиц был уточнен, и в настоящий момент, локальный мониторинг почв должен проводиться на территории 236 промышленных объектов. По данным [4], в 2021 г. мониторинговые исследования земель проводились 209 природопользователями на 1124 пунктах наблюдений.

Первоначально в перечень природопользователей, на территории которых необходимо проводить локальный мониторинг земель, входили крупные промышленные предприятия, осуществляющие такие виды деятельности, как литье и обработка стали, чугуна, цветных металлов, изготовление готовых металлических изделий, машин, оборудования, бытовых приборов и техники, и прочие производства, способные оказывать негативное воздействие на земли. В последней редакции Инструкции перечень экологически опасных производств был расширен и откорректирован с детализацией производственных процессов и проектных мощностей предприятий, на территории которых требуется проводить мониторинговые исследования почв.

Перечень наблюдаемых химических веществ также первоначально был прописан в Инструкции. Для большинства промышленных предприятий к ним относились кадмий, цинк, свинец, медь, никель, хром, мышьяк, ртуть, на предприятиях, специализирующихся на производстве и распределении электроэнергии – полихлорированные бифенилы, резины и резиновых изделий – нефтепродукты и полициклические ароматические углеводороды. Для ряда предприятия перечень наблюдаемых параметров устанавливали территориальные подразделения Минприроды после предварительного обследования территории.

С развитием нормативно-правовой базы и оптимизации системы мониторинга в 2017 г. Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды был разработан и утвержден «Перечень пунктов наблюдений локального мониторинга окружающей среды, перечень параметров, периодичность наблюдений и пере-



чень юридических лиц, осуществляющих проведение локального мониторинга окружающей среды, который также периодически редактируется. В данном документе четко регламентированы юридические лица, осуществляющие локальный мониторинг почв, наименование и местонахождение источника загрязнения почв, количество пунктов наблюдений, наблюдаемые показатели и периодичность проводимых наблюдений, что упростило ведение локального мониторинга земель в части определяемых загрязняющих веществ, которые изначально регламентированы и не требуют дополнительных изысканий на территории промышленного объекта. Периодичность проведения мониторинговых наблюдений согласно документу для большинства промышленных объектов составляет 1 раз в 3 года.

На начальном этапе для проведения мониторинга земель (почв) требовалось определение местоположения постоянных пробных площадок, на которых будут проводиться мониторинговые наблюдения. С этой целью на предприятиях было проведено научные исследования, позволившие определить наиболее информативные участки для отбора проб почв.

Научные изыскания выполнялись в несколько этапов, которые включали: 1) проведение предварительного обследования территории в зоне воздействия промышленного объекта; 2) определение характера и местоположения источников химического загрязнения почв, особенностей рельефа и почвенного покрова, ландшафтно-геохимических условий, определяющих условия миграции и аккумуляции поллютантов, 3) составление картосхемы с нанесением местоположения источников загрязнения почв, территорий без искусственного покрытия и участков отбора проб почв; 4) отбор и химико-аналитические исследования образцов почв, отобранных на территории промышленного объекта и в зоне его влияния, 5) составление картосхем содержания химических веществ в почвах на территории и в зоне воздействия предприятия и оценка степени загрязнения почв, 6) выбор наиболее репрезентативных участков для определения местоположения пробных площадок для дальнейшего ведения локального мониторинга земель, 7) составление инструкции по ведению локального мониторинга земель на конкретном предприятии с привязкой и детальным описанием пробных площадок и схемой их расположения.

Количество пробных площадок на пункте наблюдений первоначально устанавливалось, согласно действующей на тот момент редакции Инструкции, в зависимости от площади объекта (при расчете площади не учитывается площадь под зданиями, сооружениями, дорожным и иным искусственным покрытием), а также с учетом площади земель, подвергающихся химическому загрязнению. Количество площадок составляло: при площади объекта до 0,5 га – не менее 2 пробных площадок; от 0,5 до 1 га – 5 пробных площадок; от 1 до 10 га – 8 пробных площадок; от 10 до 100 га – 15 пробных площадок; от 100 и более га – не менее 20 пробных площадок.

В дальнейшем было предложено более дифференцированное площадное деление территории объекта с изменением количества площадок: до 0,5 га – не менее 2 пробных площадок; от 0,5 до 1 га – 3 пробных площадок; от 1 до 5 га – 5 пробных площадок; от 5 до 10 га – 8 пробных площадок; от 10 до 100 га – 15 пробных площадок; от 100 и более га – не менее 20 пробных площадок. Это было обусловлено накопленным опытом проведения мониторинговых исследований и необходимостью получения наиболее объективной информации по состоянию земель в зоне влияния источника загрязнения, что было закреплено в ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности».

Отбор проб почв при локальном мониторинге земель осуществляется методом конверта на пробной площадке, рекомендуемый размер которой должен составлять не менее 5 на 5 метров, с глубины 0-20 см, с последующим формированием объединенной почвенной пробы, что также закреплено в ЭкоНиП 17.01.06-001-2017.

В то же время в первой редакции Инструкции установление глубины отбора почв было представлено в формулировке «от 0 до 20 см», что давало возможность природопользователям отбирать пробы почв с глубин, например, 0-10 и 10-20 см или 0-5 и 5-20 см, что делало некорректным сравнительную оценку загрязнения земель различных предприятий в связи с различными подходами к отбору почвенных образцов.

Следует отметить, что на территории промышленного предприятия не всегда присутствуют территории без искусственного покрытия значительной площади. В ряде случаев это газоны или озелененные территории, расположенные вдоль зданий и сооружений, имеющие значительную длину и ограниченную ширину. В подобных случаях отбор производится равномерно по всей длине участка методом отбора отдельных точечных проб почвы с последующим образованием объединенной смешанной пробы.

В первой редакции Инструкции для тяжелых металлов к определяемым показателям относились валовые и подвижные формы, что соответствовало экологической политике, проводимой в тот период. Такой подход способствовал повышению информативности проводимого мониторинга, так как количество загрязненных почв и степень загрязнения подвижными формами элементов в ряде случаев превышало их количество при определении валового содержания.

Так, на одном из предприятий, где присутствует литейное производство, при определении валового содержания свинца доля загрязненных проб составила 21%, подвижных форм – 93%. Аналогичная картина просматривается для почв предприятия строительной отрасли, где доля загрязненных свинцом проб по валовому содержанию равна 13%, подвижным формам – 67% [2].

В следствие от определения подвижных форм металлов при локальном мониторинге почв отказались с целью гармонизации данных, получаемых при наблюдениях за химическим загрязнением земель при различных видах мониторинга, производственного контроля, научных изысканиях и прочих исследованиях земель.

Критериями для оценки наличия или отсутствия загрязнения почв первоначально выступали гигиенические нормативы (предельно или ориентировочные допустимые концентрации) химических веществ в почве, которые

определяли максимальное количество вещества, не вызывающее прямого или косвенного негативного влияния на здоровье человека и экосистему.

До 2008 г. использовались гигиенические нормативы без дифференциации по функциональному использованию территории, регламентированные ГН 2.1.7.12.1-2004 [1]. В дальнейшем для ряда химических веществ, в частности, для валового содержания свинца, мышьяка, ртути и нефтепродуктов, а также подвижных форм кадмия, хрома, цинка, меди и никеля были разработаны нормативы с учетом функционального использования территории, в которых для промышленных объектов были установлены менее жесткие допустимые значения, чем использовались ранее. В частности, для свинца гигиенический норматив составил 40 мг/кг (ранее – 32 мг/кг), мышьяка – 10 мг/кг (2,0 мг/кг), ртути – 2,5 мг/кг (2,1 мг/кг) [5].

Однако применение вышеназванных нормативов для оценки экологического состояния почв не всегда позволяют реально отразить степень загрязнения земель на территории промышленного предприятия, так как при гигиеническом нормировании не учитываются фоновое содержание химических веществ в почве, уровень техногенной нагрузки на почвы от различных источников загрязнения, расположенных на территории промышленного объекта, свойства и характеристики самой почвы.

С учетом данных критериев были разработаны и приняты к использованию дифференцированные нормативы, в основе которых лежат пороговые значений содержания химических веществ в почвах, установленные для отдельных территорий, превышение которых свидетельствует о химическом загрязнении почв или грунтов.

Для промышленных предприятий установлены следующие пороговые значения содержания в почвах исследуемых при мониторинге тяжелых металлов (таблица).

Таблица

*Пороговые значения валового содержания тяжелых металлов  
в почвах земель промышленности и производственных зон*

| Назначение земель                                                                                                                                                                                                                                                  | Гранулометрический состав почвы | Содержание металла, мг/кг почвы |      |     |     |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|-----|-----|------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 | Cd                              | Pb   | Zn  | Cr  | Cu   | Ni   | As   | Hg   |
| Земли промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения<br>зоны специального назначения, зоны транспортной, инженерной инфраструктуры, производственные зоны, иные территориальные зоны населенных пунктов, определенные законодательством | Песчаная                        | 2,02                            | 99,2 | 209 | 107 | 74,1 | 48,4 | 18,1 | 6,20 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                    | Супесчаная                      | 3,13                            | 153  | 323 | 166 | 114  | 74,8 | 28,0 | 9,59 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                    | Суглинистая                     | 3,86                            | 189  | 399 | 205 | 141  | 92,4 | 34,6 | 11,8 |

Использование пороговых значений позволяет оценить земли с экологических позиций к их качеству, в отличие от гигиенических нормативов, которые оценивают состояние почв с точки зрения безопасности для здоровья населения.

Первичные данные, полученные в результате проведения локального мониторинга почв на территории предприятия, передаются природопользователем в Информационно-аналитический центр локального мониторинга, где они хранятся, обобщаются и анализируются для дальнейшей оценки и прогноза состояния почв в зоне техногенного воздействия. Эта информация учитывается при подготовке проектов государственных программ рационального природопользования и охраны окружающей среды, прогнозов и программ социально-экономического развития, для информирования населения о состоянии окружающей среды, экологически безопасного использования земель и почв, а также мерах по их охране.

Очевидно, что локальный мониторинг почв на территории промышленных предприятий является неотъемлемой частью их экологической политики и в дальнейшем будет развиваться в сторону оптимизации и гармонизации с другими видами мониторинга, объектами наблюдения которых являются земли и почвы.

Этому будет способствовать совершенствование нормативно-методической и нормативно-технической базы, оптимизация сети наблюдений и наблюдаемых показателей, методов отбора почв, формы предоставления мониторинговой информации. В частности, одним из вопросов, требующих корректировки при проведении мониторинговых исследований, является глубины отбора проб, ограниченные верхним 20-см слоем почвенного субстрата, что не всегда позволяет оценить реальную глубину загрязнения почв. В ряде случаев на промышленных предприятиях загрязнение земель обусловлено разливами жидких химических веществ, а также рассеянием отходов и сырьевых материалов, проникающих на значительные глубины, что приводит к формированию различных по глубине педогеохимических аномалий, не учитываемых при исследовании только верхнего слоя почв.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГН 2.1.7.12.1-2004 Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве (Утв. Постановление Гл. гос. сан. врача Республики Беларусь от 25 февраля 2004 №28).

2. Головатый, С.Е. Кадмий, цинк и свинец в почвах в зоне воздействия промышленных предприятий / С.Е. Головатый, С.В.Савченко, Е.А. Самусик // Журн. Белорус, гос. ун-та. Экология, 2017. № 4. – С. 70-80.
3. Какарека, С.В. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей / С.В. Какарека [и др.]. – Минск: Институт геологических наук АН Беларуси, 1998.
4. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.nsmos.by/uploads/archive/Sborniki/11%20LOCAL%20Monitoring%202021.pdf](http://www.nsmos.by/uploads/archive/Sborniki/11%20LOCAL%20Monitoring%202021.pdf). – Дата доступа: 11.01.2023.
5. Об утверждении гигиенических нормативов. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37.

## **СЕЗОННАЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В РЕКЕ ПЛИСА И СМОЛЕВИЧСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА СМОЛЕВИЧИ**

### **SEASONAL AND TERRITORIAL VARIABILITY OF HYDROCHEMICAL INDICATORS IN THE PLISA RIVER AND SMOLEVICHI RESERVOIR NEAR THE CITY OF SMOLEVICHI**

***Е. Я. Протасевич, В. В. Кривицкий***

***E. Protasevich, V. Kryvitski***

*Государственное Учреждение Образования «Средняя школа №2 города Смолевичи»*

*г. Смолевичи, Республика Беларусь,*

*valeri.kryvitski@gmail.com*

*State Institution of Education «Secondary school No. 2 of the city of Smolevichi»*

*Smolevichi, Republic of Belarus,*

Целью исследования явилось установление особенности влияния хозяйственной и рекреационной деятельности населения города Смолевичи на качество воды в реке Плиса и Смолевичском водохранилище в пределах территории города, путем определения ряда гидрохимических показателей. В три этапа (весной, летом и осенью) обследованы пробы воды из Реки Плиса и Смолевичского водохранилища, взятые в пределах города Смолевичи. В пробах воды из реки Плиса, взятых ниже по течению, содержание аммоний-, нитрит-, нитрат- и фосфат-ионов, в целом, было выше, чем в пробе, взятой в месте вхождения реки на территорию города Смолевичи. Это позволяет предположить, что хозяйственная и рекреационная деятельность населения города Смолевичи приводит к повышению в реке Плиса концентраций данных биогенных веществ.

The aim of the study was to establish the peculiarities of the influence of economic and recreational activities of the population of the city of Smolevichi on the quality of water in the Plisa River and the Smolevichi reservoir within the city, by determining a number of hydrochemical indicators. In three stages (spring, summer and autumn), water samples from the Plisa River and the Smolevichi reservoir, taken within the city of Smolevichi, were examined. In water samples from the Plisa River taken downstream, the content of ammonium, nitrite, nitrate and phosphate ions was generally higher than in the sample taken at the place where the river enters the territory of the city of Smolevichi. This suggests that the economic and recreational activities of the population of the city of Smolevichi lead to an increase in the concentrations of these nutrients in the Plisa River.

*Ключевые слова:* загрязнение рек, малые реки Беларуси, аммоний-ион, фосфат-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, общая жесткость воды.

*Keywords:* river pollution, small rivers of Belarus, ammonium ion, phosphate ion, nitrate ion, nitrite ion, total water hardness.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-139-142>

**Введение.** Водные объекты городского ландшафта – ключевые элементы формирования инфраструктуры – имеют большое рекреационное значение для городского населения. Они важны для поддержания биоразнообразия, являясь местами обитания многих видов флоры и фауны, сохранившихся в условиях урбанизированных территорий [1].

Сведения же о гидрохимических показателях воды в реке Плиса выше по течению г. Жодино и о возможном вкладе в загрязнение воды в реке предприятий и жителей города Смолевичи, через который протекает река Плиса,

практически отсутствуют. Также отсутствуют публикации о гидрохимическом статусе Смолевичского водохранилища. Между тем, такая информация представляет ценность для мониторинга чистоты воды в реке Плиса и Смолевичском водохранилище как с целью оценки воздействия на органический мир этих водных объектов, так и для установления возможного риска для жителей района, использующих данные водные объекты. Представленные в настоящей работе данные могут иметь ценность в том числе для косвенной оценки эффективности развития и использования аквакультуры.

**Цель исследования** – установить особенности влияния хозяйственной и рекреационной деятельности населения г. Смолевичи на качество воды в реке Плиса и Смолевичском водохранилище на участке протекания реки по территории города, путем определения ряда гидрохимических показателей.

Объектами исследования явились река Плиса и Смолевичское водохранилище, вода из которого пополняется из реки [2], и избыток воды из которого по каналу стекают обратно в реку Плиса.

Предметом исследования явился ряд гидрохимических показателей: концентрация аммоний-иона, нитрит-иона, нитрат-иона, фосфат-иона, общая жесткость, водородный показатель (рН).

**Материалы и методы.** Исследование являлось сезонным: пробы брались три раза – 21–24 мая, 23–24 июня и 24–25 сентября, с целью проследить сезонную динамику показателей.

Забор проб воды проводился по стандартной методике [3; 4] в девяти точках (рис. 1): точка №1 – в крупном и длинном канале, проходящем, в основном, через земли сельскохозяйственного назначения, до вхождения его на территорию города Смолевичи, впадающем далее в реку Плиса; точка №2 – в реке Плиса до вхождения ее на территорию города Смолевичи; точка №3 – на юго-западном берегу Смолевичского водохранилища, вблизи насосной станции; точка №4 – на северо-восточном берегу Смолевичского водохранилища, вблизи организованной зоны отдыха; точка №5 – на реке Плиса в пределах города Смолевичи, ниже впадения выпускного канала из водохранилища и выше впадения ручья, протекающего, в том числе, через промышленную зону города; точки №6, 7 и 8 – также в пределах города Смолевичи; точка №9 – ниже города Смолевичи по течению реки, около железнодорожного моста. Также на третьем этапе исследования была взята и проанализирована пробы воды (№ 10) из упомянутого выше ручья, правого притока Плисы, впадающего в нее сразу после точки № 5 и протекающего, в том числе, через промышленную зону города, чтобы проверить его возможный вклад в загрязнение реки.

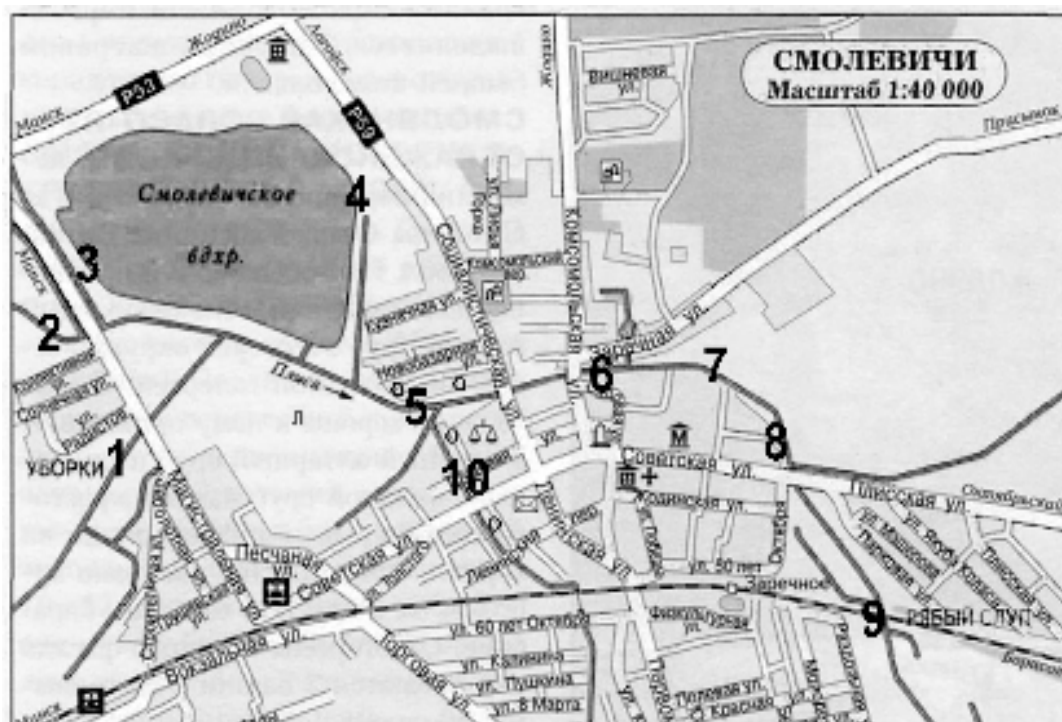


Рисунок 1 – Схема точек забора воды на изученных водных объектах (точки забора воды отмечены цифрами)

Показатели концентрация аммоний-иона, нитрит-иона, нитрат-иона, фосфат-иона, общая жесткость, водородный показатель (рН) определялись титриметрическим и визуально-колориметрическим методами с помощью тест-комплекта «VISOCOLOR® School reagent case», сравнивая окраску раствора с контрольной шкалой образцов окраски.

Результаты исследования нами гидрохимических показателей воды в реке Плиса и Смолевичском водохранилище приведены в таблицах 1 и 2.



Таблица 1

Динамика отдельных гидрохимических показателей воды в реке Плиса и Смолевичском водохранилище

| № пробы | Аммоний, мг/л |      |       | Нитраты, мг/л |      |       | Нитриты, мг/л |      |       |
|---------|---------------|------|-------|---------------|------|-------|---------------|------|-------|
|         | весна         | лето | осень | весна         | лето | осень | весна         | лето | осень |
| 1       | 0             | 0    | 3     | 5             | 5    | 10    | 0,1           | 0,2  | 0,1   |
| 2       | 0             | 0    | 0     | 10            | 5    | 5     | 0,1           | 0,1  | 0,02  |
| 3*      | 0             | 0    | 0     | 0             | 0    | 0     | 0             | 0    | 0     |
| 4*      | 0             | 0    | 0     | 0             | 0    | 0     | 0             | 0    | 0     |
| 5       | 0             | 0,02 | 0     | 5             | 5    | 0     | 0,05          | 0,2  | 0     |
| 6       | 0,5           | 0    | 0,2   | 10            | 5    | 5     | 0,1           | 0,2  | 0,1   |
| 7       | 1             | 0    | 0     | 10            | 5    | 5     | 0,2           | 0,2  | 0,05  |
| 8       | 0,5           | 0    | 0     | 10            | 5    | 5     | 0,2           | 0,1  | 0,1   |
| 9       | 1             | 0    | 0     | 5             | 5    | 10    | 0,2           | 0,05 | 0,1   |
| 10**    | -             | -    | 3     | -             | -    | 5     | -             | -    | 0,5   |

Примечания к таблице 1:

\* - пробы, взятые в Смолевичском водохранилище;

\*\* - дополнительная проба, из ручья, впадающего в Плису между местами взятия проб №5 и 6.

Таблица 2

Динамика отдельных гидрохимических показателей воды в реке Плиса и Смолевичском водохранилище

| № пробы | Фосфаты, мг/л |      |       | Общая жесткость, мг-экв/л |      |       | pH    |      |       |
|---------|---------------|------|-------|---------------------------|------|-------|-------|------|-------|
|         | весна         | лето | осень | весна                     | лето | осень | весна | лето | осень |
| 1       | 0             | 0,5  | 0     | 11,14                     | 7,24 | 6,68  | 8     | 8    | 8     |
| 2       | 0             | 0,5  | 0     | 8,36                      | 7,80 | 7,24  | 8     | 8    | 8     |
| 3*      | 0             | 0    | 0     | 6,13                      | 4,46 | 4,46  | 9     | 9    | 8     |
| 4*      | 0             | 0    | 0     | 6,13                      | 5,01 | 5,01  | 8     | 9    | 8     |
| 5       | 0             | 0    | 0     | 7,80                      | 6,68 | 8,91  | 8     | 8    | 7     |
| 6       | 0             | 0,5  | 0,5   | 7,80                      | 7,24 | 7,80  | 8     | 8    | 8     |
| 7       | 0,5           | 1,5  | 0,5   | 7,80                      | 7,24 | 7,80  | 8     | 8    | 8     |
| 8       | 0             | 1,5  | 0,5   | 9,47                      | 7,80 | 8,91  | 8     | 8    | 8     |
| 9       | 0,5           | 0,5  | 0,5   | 8,36                      | 7,80 | 7,80  | 8     | 8    | 8     |
| 10**    | -             | -    | 0,5   | -                         | -    | 8,36  | -     | -    | 8     |

Примечания к таблице 2: см. табл. 1

**Результаты и выводы.** Площадь водосбора реки Плиса и Смолевичского водохранилища на территории города Смолевичи подвергается значительной антропогенной нагрузке, в том числе в форме канализационных стоков, стоков с частных огородов, многочисленных мест нелегального выброса и сжигания мусора. Данные факты наблюдались нами визуально и были зафиксированы фото- и видеосъемкой, а также обозначены на плане местности.

В ряде проб воды из реки Плиса и впадающих в нее канала и ручья обнаружены концентрации ионов аммония, нитритов и фосфатов, превышающие установленные ПДК для поверхностных водных объектов, причем в случае с аммонием и с фосфатами превышение достигало семи с лишним раз.

Между Смолевичским водохранилищем и рекой Плиса выявлены значительные различия в концентрации изученных биогенных соединений. В водохранилище они были настолько низки, что не были обнаружены использованными методами исследования. Вероятно это вызвано поглощением данных химических соединений бактериями, протистами и растениями. В реке же и канале этот процесс был менее активным вследствие проточности и низкой температуры воды.

В пробах воды из реки Плиса, взятых ниже по течению, содержание аммоний-, нитрит-, нитрат- и фосфат-ионов, в целом, было выше, чем в пробе, взятой в месте вхождения реки на территорию города Смолевичи. Это позволяет предположить, что хозяйственная и рекреационная деятельность населения города Смолевичи приводит к повышению в реке Плиса концентраций данных биогенных веществ.

Анализ сезонной динамики изученных показателей выявил некоторое снижение в реке Плиса летом средней концентрации ионов аммония и нитратов, и повышение концентрации фосфатов, что в целом соответствует литературным данным [5].

Выявленные нами концентрации аммоний-иона, нитрит-иона, нитрат-иона, фосфат-иона позволяют сделать вывод о низкой пригодности реки Плиса в районе города Смолевичи для рыбохозяйственной деятельности. Но в рекреационных целях, согласно нашим данным, реку можно использовать, хотя неприятный запах воды снижает и эту возможность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпеченко, К.А. Гидрологическое районирование территории Беларуси / К.А. Карпеченко / Сборник работ 72-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, Минск, 11–22 мая 2015. В 3-х ч. Ч. 1. – Мн, 2015. – С. 301–304.
2. Блакітная кніга Беларусі: Энцыклапедыя / рэдкал.: Н.А. Дзісько і інш. – Мінск: БелЭн, 1994. – 415 с.
3. Фомин, Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. / Г.С. Фомин. – М., 2000. – 849 с.
4. Ходоровская, Н.И. Физико-химические и гидробиологические методы исследования экологического состояния водоемов: Учебное пособие. / Н.И. Ходоровская, О.Н. Кандерова. – Челябинск. Изд. ЮУрГУ, 2002. – 70 с.
5. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2020 год) [Электронный ресурс] / Минприроды Республики Беларусь, Минздрав Республики Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by/static/files/%D0%93%D0%92%D0%9A%20%D0%B7%D0%B0%202020.pdf>. – Дата доступа: 25.10.2022.

### ПЫЛЕФИЛЬТРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ Г. МИНСКА (НА ПРИМЕРЕ ДЕНДРОФЛОРЫ ПАРТИЗАНСКОГО ПРОСПЕКТА)

#### DUST-FILTERING ABILITY OF WOODY PLANTS IN MINSK (ON THE EXAMPLE OF DENDROFLORA OF PARTIZANSKY PROSPECT)

**З. Ж. Абдуллажонова<sup>1,2</sup>, А. Г. Чернецкая<sup>1,2</sup>, Н. П. Стригельская<sup>1,2</sup>**  
**Z. Zh. Abdullazhonova<sup>1,2</sup>, A. G. Chernetskaya<sup>1,2</sup>, N. P. Strigelskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республики Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республики Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus  
[chealval@gmail.com](mailto:chealval@gmail.com)

Деревья – один из важнейших элементов городского ландшафта. В статье рассматривается видовой состав деревьев и изучение их состояния в составе композиций насаждений рекреационных зон г. Минска. В современных городах зеленые насаждения выполняют множество функций. Санитарно-гигиенические качества зеленых насаждений основаны на высоких газопоглощительных и аккумуляционных свойствах растительности. Одной из целей работы является определение пылефильтрующей способности древесных растений на примере Партизанского проспекта г. Минска.

Trees are one of the most important elements of the urban landscape. The article deals with the species composition of trees and the study of their condition in the composition of planting compositions of recreational areas of Minsk. In modern cities greenery performs many functions. Sanitary and hygienic qualities of green spaces are based on high gas absorption and accumulation properties of vegetation. One of the objectives of the work is to determine the dust filtering capacity of woody plants on the example of Partizansky Prospect in Minsk.

**Ключевые слова:** озеленение, дендрофлора, рекреационная зона, доминантный вид, ландшафт, пылефильтрующая способность.

**Keywords:** landscaping, dendroflora, recreational area, dominant species, landscape, dust-filtering ability.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-142-146>

Деревья – один из важнейших элементов городского ландшафта. В современных городах зеленые насаждения выполняют множество функций. Санитарно-гигиенические качества зеленых насаждений основаны на высоких газопоглощительных и аккумуляционных свойствах растительности. В зеленых зонах микрорайонов запыленность воздуха снижается на 40–50%. Линейные посадки деревьев и кустарников вдоль дорог снижают концентрацию пыли в транспортной зоне на 10–15% [3].

К деревьям, используемым для озеленения городов, предъявляется ряд специфических требований. Они должны иметь не только эстетически выигрышную, но и легко контролируемую форму роста, расти быстрее, быть как можно более устойчивыми к болезням, вредителям, загрязнению и физическим повреждениям. Раньше широко практиковалось озеленение конкретной улицы единственной породой дерева, экземпляры которого располагались на более или менее одинаковых расстояниях друг от друга. Такие одновидовые насаждения особенно чувствительны не только к вредителям и инфекционным болезням, но и к неблагоприятным погодным условиям, например, засухе. Поэтому желательно использовать для озеленения даже небольших площадей, несколько сочетающихся по форме и размеру древесных пород [1].

Минск – крупный город, на территории, которого размещено множество различных предприятий, и имеется большой поток транспортных средств. И как следствие этого, вопрос состояния окружающей среды в городе становится все более актуальным. В городской среде пыль, оседаемая на деревьях имеет разные составляющие: животные и растительные компоненты и неорганические вещества, химические соединения. В состав городской пыли входят и такие вредные для здоровья человека вещества, как кадмий, свинец, примеси кальция, меди, железа, хрома. Эти вещества появляются в воздухе в результате движения автотранспорта, а в зимний период количество пыли увеличивается за счет использования шипованных шин, так как идет износ дорожного полотна. Наибольший вред здоровью наносит мелкодисперсная пыль и аэрозольные вещества, так как они оседают в легких и бронхах, при постоянном вдыхании приводит к возникновению серьезных заболеваний. Озелененные участки между проезжей частью и зданиями играют роль санитарной полосы, которая осаждаёт на себя пыль, газообразные и химические вещества, микроорганизмы, радионуклиды из окружающей среды, и обогащает воздух кислородом [2].

Все древесные растения способны механически удерживать пыль и химические соединения из окружающего воздуха. При этом пылезадерживающая способность у различных растений выражена в неодинаковой степени. Мы оценили способность древесных растений осажда́ть атмосферную пыль. Адсорбируемую пыль на поверхность листьев и побегов мы разделили на две фракции – растворимую в воде (это сульфаты и нитраты с нитритами) и нерастворимую в воде.

Частицы пыли закрепляются на поверхности листьев различными механизмами, среди которых определенную роль играют гуттационные выделения. Смолистые выделения также способствуют лучшему задержанию пыли. Однако не всегда большая опушенность листьев ассоциируется с более высокой пылезадерживающей способностью. Анализ литературных данных также это подтверждает [4]. Седиментация аэрозолей зависит не только от характера поверхности листьев, но и от конфигурации листа, электростатических эффектов, аэродинамических условий в кронах деревьев, степени ажурности кроны.

Для оценки пылефильтрующей способности древесных растений были заложены пробные площади в зеленых насаждениях города, расположенных на различных расстояниях от магистрали с интенсивным движением около 8000 автомобилей в час. Интенсивность движения автотранспорта определяли путем подсчета количества проехавших автомобилей в обе стороны движения за 10 мин (6 подсчетов в течение дня). Наблюдения проводились в течение года на расстояниях 1, 5, 10, 100 и 1000 м от дороги. Отбор листьев проводился методом средней пробы в центре с двух сторон (со стороны автомагистрали и со стороны тротуара) или с южной стороны кроны 4–6 раз в течение вегетации с 10 деревьев одного вида в каждой зоне загрязнения. не менее 10 побегов отбирались с каждого дерева. фиксация листьев проводилась высушиванием в термостате при температуре 105°C. Определение общей серы и азота в листьях проводилось по уже известным методикам на спектрофотометре КФК – 3. Количество адсорбированной пыли и газов определялось по специально разработанной методике: листья перед высушиванием отмывались в 50 мл воды, затем количество твердого осадка определялось на фильтре после высушивания.

Первый этап исследования был проведен в сентябре 2021 года. Объектами исследования стали насаждения зеленой полосы участка по Партизанскому проспекту, в непосредственной близости от корпуса Белорусского государственного экономического университета (Партизанский проспект, 26). Данная пробная площадка находится в центре города и испытывает неблагоприятное воздействие автотранспорта, интенсивность движения которого в среднем 2560 маш./ч.

Были изучены следующие виды растений: боярышник крупноплодный (*Crataegus aestivalis* Walter.) Torr. and A. Gray), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), яблоня домашняя (*Malus domestica* L.).

В ходе данного исследования листья с деревьев отбирали только со стороны проезжей части на расстоянии 1–1,5 м от нее, на высоте 1,5–2,5 м. С каждого вида было собрано 90 листьев, из них были составлены 3 пробы по 30 шт. Для определения количества адсорбированной пыли листья отмывали в 100 мл дистиллированной воды, затем количество твердого осадка определяли весовым методом на фильтре после высушивания. Площадь листьев определяли методом отпечатков путем обведения контуров листовых пластинок на бумаге и взвешиванием вырезанных образцов в сравнении с массой квадрата 10×10 см из той же бумаги.

Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пылезадерживающая способность листьев древесных растений (на примере Партизанского проспекта, лето 2021)

| Наименование вида                                               | Пылезадерживающая способность листьев, г / кв.м |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Боярышник крупноплодный ( <i>Crataegus aestivalis</i> Walter.)  | 0,4 ± 0,05                                      |
| Конский каштан обыкновенный ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.) | 1,0 ± 0,18                                      |
| Липа мелколистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)                 | 3,0 ± 0,11                                      |
| Рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.)               | 0,8 ± 0,16                                      |
| Яблоня домашняя ( <i>Malus domestica</i> L.)                    | 0,8 ± 0,06                                      |

Согласно полученным данным, из числа исследуемых растений на Партизанском проспекте наибольшей пылезадерживающей способностью обладала липа мелколистная, ее различие статистически достоверно. Наименьшее количество пыли осаждали листья боярышника крупноплодного, его различие также статистически существенно. Между остальными видами существенных различий не выявлено.

Изученные виды растений образуют следующий ряд по снижению пылезадерживающей способности: липа мелколистная, конский каштан обыкновенный, рябина обыкновенная, яблоня домашняя, боярышник крупноплодный. Максимальный эффект достигается при высадке зеленых насаждений полосами шириной 10–30 м. В центре кроны осаждается до 30% загрязняющих частиц [2].

Анализ всех данных за 2022 год показал, что достоверных различий по количеству пылеосаждения листьями древесных растений в различных типах посадок в одной зоне загрязнения не наблюдалось за год исследований. Все древесные и кустарниковые виды мы разделили на 3 группы по интенсивности накопления пыли.

1. С максимальной пылефильтрующей способностью, абсорбирующей до 5 г/м<sup>2</sup> ассимиляционной поверхности:

1. Ясень пушистый *Fraxinus pubescens* Marsh.
2. Клен ясенелистный, или клён американский *Acer negundo* Maxim.
3. Тополь черный *Populus pyramidalis* Rozier
4. Вяз перисто-ветвистый *Ulmus pinnatoramosa* Diech.
5. Лох серебристый *Elaeagnus argentea* Purch.
6. Чубушник веничный *Philadelphus coronarius* L.
7. Рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L.
8. Береза повислая *Betula pendula* Roth.
9. Липа мелколистная *Tilia cordata* Mill.
10. Роза морщинистая *Rosa rugosa* Thunb.

2. Со средней пылефильтрующей способностью (до 2 г/м<sup>2</sup>):

1. Клен остролистный *Acer platanoides* L.
2. Вяз гладкий *Ulmus laevis* Pall.
3. Клен ясенелистный *Acer negundo* L.
4. Снежнаягодник белый *Symphoricarpos albus* (L).
5. Бузина черная *Sambucus racemosa* L.
6. Карагана древовидная *Caragana arborescens* Lam.

3. С минимальной фильтрующей способностью (до 0,5 г/м<sup>2</sup>):

1. Конский каштан обыкновенный *Aesculus hippocastanum* L.
2. Сирень обыкновенная *Syringa vulgaris* L.

В зонах сильного загрязнения в качестве биофильтров рекомендуется использовать: Ясень пушистый *Fraxinus pubescens* Marsh., Клен ясенелистный, или клён американский *Acer negundo* Maxim., Тополь черный *Populus pyramidalis* Rozier, Вяз перисто-ветвистый *Ulmus pinnatoramosa* Diech., Лох серебристый *Elaeagnus argentea* Purch., Чубушник веничный *Philadelphus coronarius* L., Рябину обыкновенную *Sorbus aucuparia* L., Березу повислую *Betula pendula* Roth., Липу мелколистную *Tilia cordata* Mill., Розу морщинистую *Rosa rugosa* Thunb.

Высокая адсорбирующая способность кустарников связана с тем, что наибольшее количество частиц пыли выпадает именно на высоте кустарников (до 1 м). Листья Снежнойгодника белого *Symphoricarpos albus* (L). обладали максимальной пылеадсорбирующей способностью по сравнению с другими кустарниковыми видами, причем именно к концу вегетации. Среднегазоустойчивые виды в условиях Минска обладают наибольшей способностью к накоплению пыли, окислов азота и серы на поверхности листьев деревьев.

Мы также попытались определить количественно адсорбирование окислов серы и азота побегами листовых древесных растений. Побеги отмывались по такой же методике, что и листья.

Количество адсорбируемых окислов азота на побегах клена остролистного в зоне максимального загрязнения постепенно увеличивается к концу вегетации. Так, осаждение в июне составило 0 мг/г, в июле – 6,04 ± 0,31



и в начале сентября оно увеличивается до  $18,12 \pm 0,75$ , при этом адсорбированные частицы полностью смыты с листьев. Количество осажженных окислов азота на расстоянии 60 и 1000 м от шоссе составило в конце вегетации соответственно  $6,11 \pm 0,30$  и  $7,08 \pm 0,60$ . Количество адсорбированной серы увеличилось к концу вегетации в 2 раза в зоне максимального загрязнения, эта величина была на порядок ниже, чем количество азота, и составила  $0,29 \pm 0,01$ . Содержание серы, адсорбированной побегами в других зонах, было меньше в 1,5...2 раза. Самые высокие значения адсорбирования азота и серы побегами наблюдались у ясеня пушистого, липы мелколистной и рябины обыкновенной (рисунки 1, 2.)

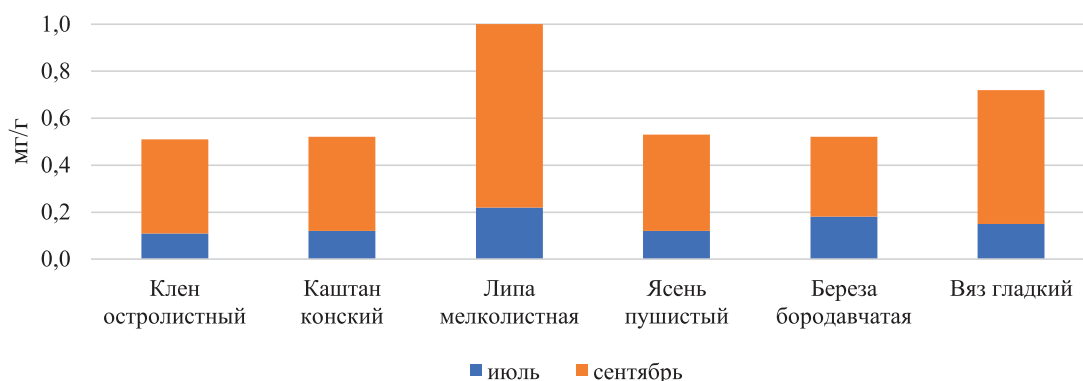


Рисунок 1 – Адсорбирование окислов азота побегами древесных растений в зоне максимального загрязнения, мг/г

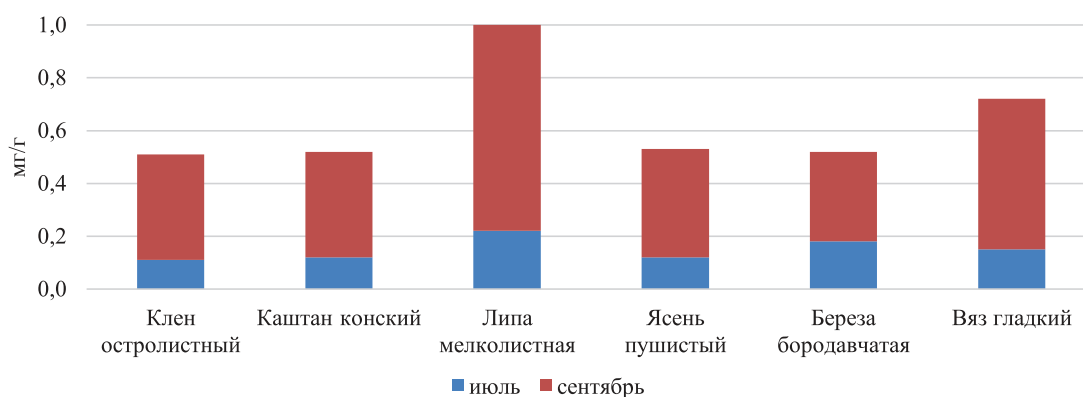


Рисунок 2 – Адсорбирование окислов серы побегами древесных растений в зоне максимального загрязнения, мг/г

Адсорбирование окислов азота и серы побегами достоверно снижалось на расстоянии 60 и 1000 м от шоссе с интенсивным движением в 1,2 и 1,6 раза соответственно. Достоверных различий по отложению этих окислов на побегах всех исследуемых видов в зонах минимального загрязнения не обнаружено. По сравнению с деревьями, произрастающими в городе, побеги в условиях фона не адсорбируют окислы азота, а количество окислов серы составляет всего лишь 5-20 % от ее содержания в зоне минимального загрязнения.

Для уменьшения загрязненности городского воздуха пылью предпочтительно увеличивать количество зеленых насаждений и их плотность, используя древесные растения с высокой пылезадерживающей способностью. Согласно полученным данным, из числа исследуемых растений на Партизанском проспекте наибольшей пылезадерживающей способностью обладала липа мелколистная ( $3,0 \pm 0,11$ ). Наименьшее количество пыли осаждали листья боярышника крупноплодного ( $0,4 \pm 0,05$ ). Между остальными видами существенных статистических различий не выявлено.

В зонах сильного загрязнения в качестве биофильтров рекомендуется использовать: Ясень пушистый *Fraxinus pubescens* Marsh., Клен ясенелистный, или клён американский *Acer negundo* Maxim., Тополь черный *Populus pyramidalis* Rozier, Вяз перисто-ветвистый *Ulmus pinnatoramosa* Diech., Лох серебристый *Elaeagnus argentea* Purch., Чубушник веничный *Philadelphus coronarius* L., Рябину обыкновенную *Sorbus aucuparia* L., Березу повислую *Betula pendula* Roth., Липу мелколистную *Tilia cordata* Mill., Розу морщинистую *Rosa rugosa* Thunb.

Высокая адсорбирующая способность кустарников связана с тем, что наибольшее количество частиц пыли выпадает именно на высоте кустарников (до 1 м). Листья Снежнойродника белого *Symphoricarpos albus* (L.) обладали максимальной пылеадсорбирующей способностью по сравнению с другими кустарниковыми видами, причем именно к концу вегетации. Среднегазоустойчивые виды в условиях Минска обладают наибольшей способностью к накоплению пыли, окислов азота и серы на поверхности листьев деревьев.

Самые высокие значения адсорбирования азота побегами наблюдались у Вяза гладкого *Ulmus laevis* Pall. (31 мг/г), Конского каштана обыкновенного *Aesculus hippocastanum* L. (31 мг/г) и Клена ясенелистного *Acer negundo* L. (30 мг/г), самые низкие – у Березы повислой *Betula pendula* (21 мг/г). Адсорбирование окислов азота побегами достоверно снижалось на расстоянии 60 и 1000 м от шоссе с интенсивным движением в 1,2 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварничина, К.Е. Ведерников. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2017. – 216 с.
2. Гаранович, И. Особенности озеленения областных центров Беларуси / И. Гаранович // Наука и инновации. 2015. №145. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ozeleneniya-oblastnyh-tsentrov-belarusi> (дата обращения: 25.02.2023).
3. Горохов, В.А. «Инженерное благоустройство городских территорий и населенных мест» / В.А. Горохов, О.С. Расторгуев. – Москва: Стройиздат, 1994.
4. Парамонова, Л.А. Озеленение территории города / Л.А. Парамонова // Ceteris Paribus. 2022. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ozelenenie-territorii-goroda> (дата обращения: 25.02.2023).

## THE IMPACT OF NITROGEN OXIDES ON THE ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH IN CHINA ВОЗДЕЙСТВИЕ ОКСИДОВ АЗОТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА В КИТАЕ

Wu Tingting<sup>1,2</sup>, Y. V. Zhyltsova<sup>1,2</sup>

У Тинтин<sup>1,2</sup>, Ю. В. Жильцова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus, Zhyltsova@mail.ru

The article is devoted to the study of the atmospheric nitrogen oxides influence on the population health and the environment state in China. Since 2011, emissions have decreased by 2.4 times. However, the concentration of nitrogen dioxide in the ambient air is still almost 4 times higher than the values recommended by the World Health Organization. It has been proved that high concentrations of nitrogen dioxide in Ningbo's air was the main cause of low precipitation acidity, high acid rain frequency, high lung cancer incidence and death from lung cancer from 2006 to 2011.

Статья посвящена изучению влияния оксидов азота атмосферного воздуха на здоровье населения и состояние окружающей среды в Китае. С 2011 года выбросы уменьшились в 2,4 раза. Однако концентрация двуоксида азота в окружающем воздухе по-прежнему почти в 4 раза превышает значения, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения. Доказано, что высокие концентрации диоксида азота в воздухе Нинбо являются причиной низкой кислотности осадков, высокой повторяемости кислотных дождей и являлись основной причиной заболеваемости раком легких и смерти от рака легких с 2006 по 2011 год.

**Ключевые слова:** выбросы оксидов азота, атмосферный воздух, окружающая среда, здоровье населения, Нинбо, Китай.

**Keywords:** nitrogen oxides emissions, ambient air, environment, human health, Ningbo, China.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-146-149>

The rapid development of China's cities and economy has caused a series of problems. For example, according to the World Health Organization, at the beginning of the 21st century, the highest deaths from urban air pollution were experienced in China. At present, as before, the biggest challenge facing China's environment is to reduce air pollution. And the control of nitrogen oxides pollution is undoubtedly one of the most important and difficult issues. Because when nitrogen oxides enter the environment, they have chemical transformations and reactions to sunlight. So, they participate in the destruction of the ozone layer, climate change, the formation of smog, reduce the acidity of precipitation, affect air, soil, water, biological diversity, and human health [1].

The central government has put forward nitrogen oxides emission reduction targets in the «12th and 13th Five-Year Plans». Therefore, the purpose of our work was to evaluate the impact of nitrogen oxides on the environment and health in China. To achieve this goal, the following tasks were solved:

1. To identify areas with the highest nitrogen oxides emissions in China.
2. Taking the city Ningbo as an example, analyze the situation of ambient air nitrogen oxides pollution and the effectiveness of the measures taken by China to reduce the concentrations.
3. To assess the state of the environment and human health in the region with elevated concentrations of nitrogen oxides in the air (using the example of Ningbo).

The objects of the study were nitrogen oxides concentrations and emissions in China, environmental and human health impacts of nitrogen oxides, and measures taken to ambient air nitrogen oxides reduced in China. Theoretical and statistical research methods were used during investigation. Statistical materials were taken from open internet sources [2-5].

The NO<sub>x</sub> emission standards for some countries (table 1) is presented below. Comparing the data in Table 1, we can conclude that the Daily average value of the Nitrogen dioxide emission concentration limit in China is 1.25-3.75 times higher than in neighboring countries (Russia and Kazakhstan) and 2-4 times higher than the values recommended by the World Health Organization.

Table 1

*Ambient nitrogen oxides emission concentration limit of settlements and places of recreation for the population, mg/m<sup>3</sup>*

| Country and Region    |     | Nitrogen dioxide emission concentration limit (NO <sub>2</sub> ) |               |                |
|-----------------------|-----|------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|                       |     | Maximum one-time                                                 | Daily average | Average annual |
| Republic of Belarus   |     | 0,250                                                            | 0,100         | 0,040          |
| China                 | *   | 0,10                                                             | 0,05          | -              |
|                       | **  | 0,15                                                             | 0,10          | -              |
|                       | *** | 0,30                                                             | 0,15          | -              |
| Kazakhstan            |     | 0,200                                                            | 0,04          |                |
| Russia                |     | 0,085                                                            | 0,04          |                |
| The European Union    |     | 0,200                                                            | -             | 0,040          |
| Recommendation of WHO |     | 0,200                                                            | 0,025         | 0,010          |

Notes. 1. \* – the environmental standards of nitrogen oxides (converted to NO<sub>2</sub>) for nature reserves, scenic spots, historical sites and recuperation areas.

2. \*\* – for urban Residential areas, commercial, traffic-resident mixed areas, cultural areas and rural areas in the planning.

3. \*\*\* – for atmospheric Severely polluted towns, industrial areas, urban transportation hubs, trunk lines, etc.

In 2020, the national nitrogen oxide emission was about 10 million tons. Among them, nitrogen oxide emissions from industrial sources were almost 41%; from domestic sources – 3.3%; from mobile sources – almost 56% of the national nitrogen oxide emissions. The area with the largest emission of nitrogen oxides from industrial sources is Shanxi, and the areas with the largest emission of nitrogen oxides from domestic and mobile sources are all in Hebei.

As a result of the analysis, it was found that the areas with the highest nitrogen oxide emissions in China from 2011 to 2020 are as follows: Hebei, Shandong, Guangdong, Liaoning, Shanxi, Henan, Hubei, Jiangsu, Inner Mongolia, Anhui, Sichuan, Zhejiang, and Heilongjiang – 13 provinces. Their total nitrogen oxide emissions in 2011 were 15,898 and in 2020 6,703 million tons. During this time, nitrogen oxide emissions decreased by 2.4 times in these provinces and by 2 times in the whole country (from 24,043 to 11,772 million tons). The maximum reduction in emissions is observed in the provinces of Ningxia (by 3,8 times) and Jiangsu (by 3,2 times). The area with the largest emission of nitrogen oxides from industrial sources is Shanxi, and the areas with the largest emission of nitrogen oxides from domestic and mobile sources are all in Hebei. All these provinces are located mainly in eastern China. By comparing nitrogen oxide emissions and ambient air concentrations the city of Ningbo was finally chosen to analyze the impact of elevated nitrogen oxide concentrations in the region on the environment and human health. Ningbo is industrial and transportation developed city of the most polluted Yangtze River Delta area on the east of China.

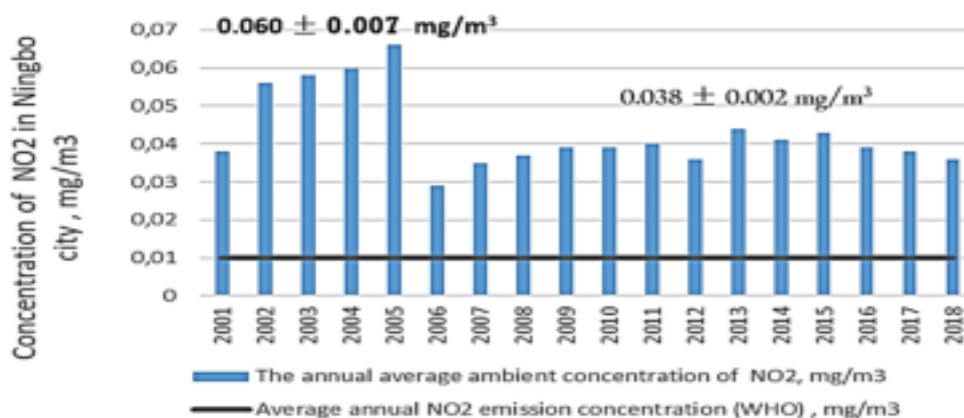


Figure 1 – Dynamics of the annual average ambient nitrogen dioxide concentration in Ningbo, mg/m<sup>3</sup> ( $p=0.05$ )

From the diagram on the figure 1, it can be seen that in the period from 2002 to 2005, the average annual concentration of nitrogen dioxide in the atmospheric air was especially high. The maximum concentration was recorded in 2005. The average concentration of nitrogen dioxide for this period is significantly higher compared to the period from 2006 to 2018. Nitrogen oxides ambient air concentration began to fell in 2006. In 2012 the government took more measures, for example, old coal-fired boilers and industrial kilns were eliminated, oil and gas recovery and treatment were carried out, technical plans for reducing organic waste gas were studied and formulated, old vehicles were eliminated, sets of black smoke capture systems were build, the vehicle emission inspection and maintenance system were implemented. Thus, the concentration of nitrogen dioxide decreased by 1.6 times. However, the concentration of nitrogen dioxide is almost 4 times higher than the values recommended by the World Health Organization.

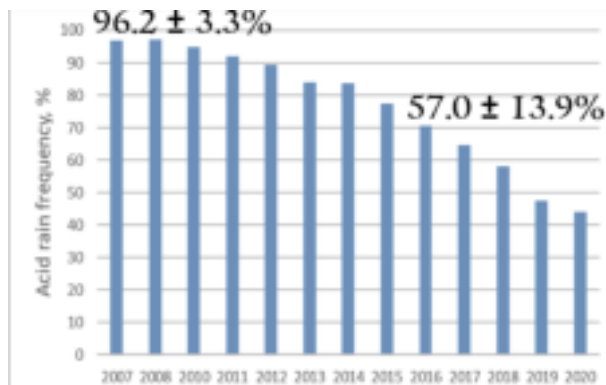


Figure 2 – Dynamics of acid rain frequency in Ningbo, % ( $p=0.05$ )

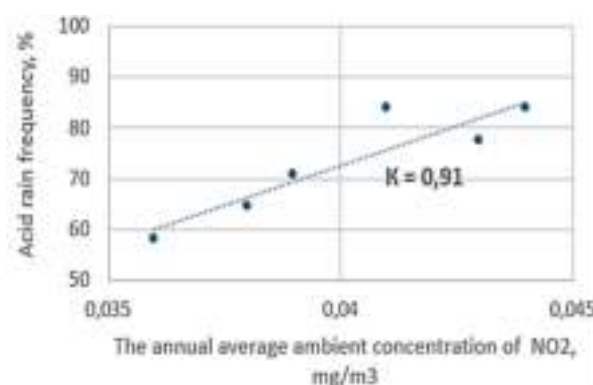


Figure 3 – The relationship between the average annual ambient air concentration of nitrogen dioxide in Ningbo and the acid rain frequency during 2013–2018

Diagram of changes in the acid rain frequency from 2007 to 2020 is on the figure 2. Thus, the indicator of the acid rain frequency has significantly decreased by about 2 times. After 2012, the relationship between the average annual ambient air concentration of nitrogen dioxide in Ningbo and the acid rain frequency (on the figure 3) is directly proportional with a linear correlation coefficient of 0.91.

From 2007 to 2020, precipitation acidity significantly increased by 1.2 times (fig. 4). After 2012, dependence between the average annual concentration of nitrogen dioxide in the atmospheric air and the acidity of precipitation in Ningbo is inversely proportional with a linear correlation coefficient of -0.89. Such a coefficient characterizes a significant relationship (fig. 5).

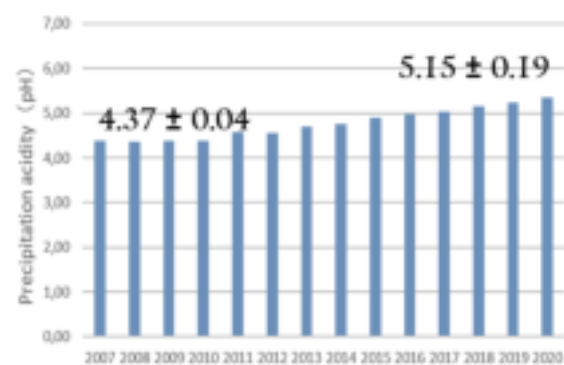


Figure 4– Dynamics of precipitation acidity (pH) in Ningbo,  $p=0.05$

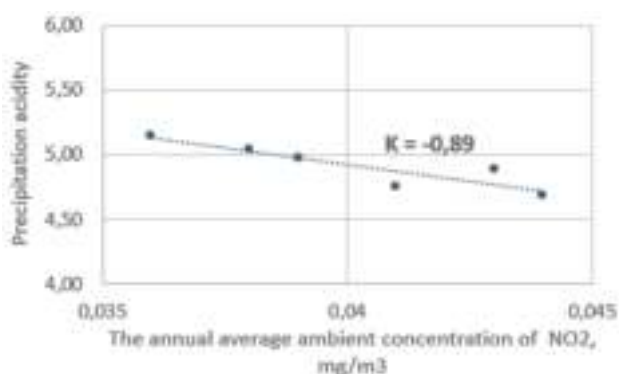


Figure 5 – The relationship between the average annual concentration of NO<sub>2</sub> in the atmospheric air and the acidity of precipitation in Ningbo during 2013–2018

So, it was found that high concentrations of nitrogen dioxide in the air of Ningbo were the cause of low precipitation acidity and high acid rain frequency, as indicated by high values of correlation coefficients.

The high correlation coefficients between nitrogen dioxide air pollution in Ningbo and lung cancer incidence (0.87) on fig. 6 and death from lung cancer (0.93) on fig. 7 indicate a directly proportional significant relationship, which means that in the period before 2011, lung cancer incidence and death from lung cancer have been associated with nitrogen dioxide air pollution.

Thus, it was proved that high concentrations of ambient air nitrogen dioxide in Ningbo caused lung cancer incidence and death from lung cancer from 2006 to 2011. So, in our work it is found that the change of annual average ambient air nitrogen oxide concentration is closely related to the frequency of acid rain and the acidity of precipitation, and also



has an inseparable relationship with the incidence and mortality of lung cancer in residents of Ningbo (China's province Zhejiang).

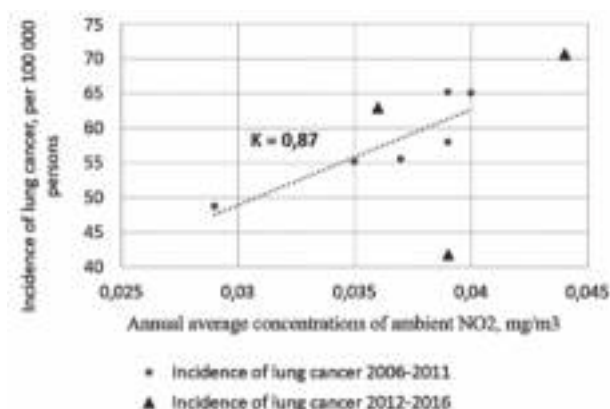


Figure 6 – The dependence of the lung cancer incidence among residents of Ningbo on the average annual ambient air nitrogen dioxide concentration

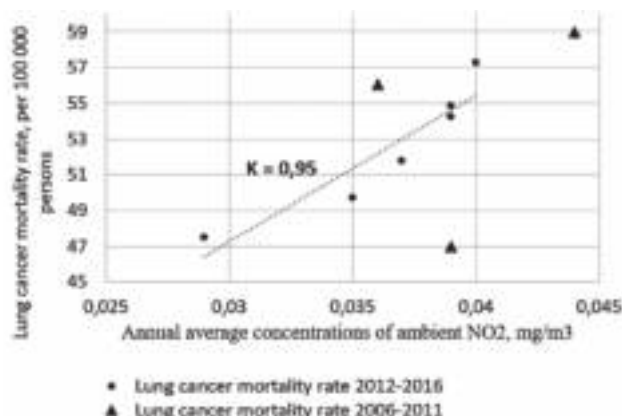


Figure 7 – The dependence of the lung cancer mortality rate among residents of Ningbo on the average annual ambient air nitrogen dioxide concentration

Based on the work done, measures were proposed that would further reduce the impact of nitrogen oxides on the environment:

- to increase the number of wetland ecological parks, forest ecological parks and road green belts;
- to further reduce self-emissions;
- to carry out air pollution environmental protection management system innovation;
- to increase penalties for illegal emissions and illegal discharges;
- to encourage research on urban eco-planning;
- to accelerate the elimination of backward production capacity and technology, and improve the clean production level;
- to promote the coordinated development of economy, society and resources and environment.

## REFERENCES

1. An investigation of Spatial Patterns of Urban Air Pollution and Source Recognition through GIS and Remote Sensing in Lahore [Electronic resource] / M. Danson, 2011. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/230737231\\_An\\_investigation\\_of\\_Spatial\\_Patterns\\_of\\_Urban\\_Air\\_Pollution\\_and\\_Source\\_Recognition\\_through\\_GIS\\_and\\_Remote\\_Sensing\\_in\\_Lahore](https://www.researchgate.net/publication/230737231_An_investigation_of_Spatial_Patterns_of_Urban_Air_Pollution_and_Source_Recognition_through_GIS_and_Remote_Sensing_in_Lahore) – Date of access: 29.04.2022.
2. China statistical yearbook [Electronic resource] / Compiled by National Bureau of Statistics of China, 2021. – Mode of access: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2021/indexeh.htm> – Date of access: 21.03.2022.
3. Ningbo Municipal Bureau of Ecology and Environment [Electronic resource] – Mode of access: <http://sthjj.ningbo.gov.cn> – Date of access: 25.03.2022.
4. Report on the State of the Ecology and Environment in China [Electronic resource] / 2019. – Mode of access: <https://english.mee.gov.cn/Resources/Reports/soe/SOEE2019/202012/P020201215587453898053.pdf> – Date of access: 2.04.2022.
5. China Cancer Registration Annual Report [Electronic resource] / 2019. – Mode of access: <https://ghdx.healthdata.org/series/china-national-central-cancer-registry>: 2.04.2022.

**ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,  
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
И ЗАЩИТА**

# **НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НАДЗОРА ЗА ПРОВЕДЕНИЕМ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ РАБОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ДОБЫЧИ УРАНА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН**

## **REGULATORY AND LEGAL SUPPORT OF SUPERVISION OF REMEDIATION WORKS OF CONTAMINATED TERRITORIES FROM URANIUM MINING IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

**У. М. Мурсаидов, Б. Б. Баротов, Ф. А. Хамидов,  
М. З. Ахмедов, И. Мурсаидзода (И. У. Мурсаидов)**

**U. M. Mirsaidov, B. B. Barotov, F. A. Khamidov,  
M. Z. Akhmedov, I. Mirsaidzoda (I. U. Mirsaidov)**

*Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной  
академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ulmas2005@mail.ru  
Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of  
Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan*

Приведены результаты по разработке нормативных правовых актов в области управления отходами урановой промышленности в Республике Таджикистан. Создан интегрированный системный подход разработки нормативно-правовой базы в этой области, сопровождающий надзор за проведением реабилитационных работ загрязнённых территорий от добычи урана в Республике Таджикистан.

The results of the development of regulatory legal acts in the field of waste management of the uranium industry in the Republic of Tajikistan are presented. An integrated systematic approach has been created to develop a regulatory framework in this area, which supports the supervision of the remediation of contaminated areas from uranium mining in the Republic of Tajikistan.

*Ключевые слова:* нормативные правовые акты, надзор, уран, реабилитация, загрязнённые территории, отходы, Таджикистан.

*Keywords:* regulatory legal acts, supervision, uranium, remediation, contaminated territories, waste, Tajikistan.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-151-154>

Вопрос безопасного управления отходами уранового производства является весьма актуальным для Таджикистана, поскольку условия их хранения не отвечают современным требованиям радиационной безопасности, а приведение этих объектов в состояние безопасности требует значительных финансовых затрат и консолидации усилий на международном уровне [1].

В Таджикистане с середины 40-х и вплоть до 90-х годов прошлого столетия осуществлялись добыча и производство урана. В результате многолетней деятельности предприятий по добыче и переработке урановой руды на севере Таджикистана образовалось более 170 миллионов м<sup>3</sup> пустой породы и хвостохранилищ с радиоактивными отходами объемом около 55 млн. тонн, суммарной активностью 6.5 тысяч Кюри. Основные сведения об объектах складирования отходов и их объёмах приведены в [2].

В настоящее время урановые хвостохранилища северного Таджикистана охарактеризованы. В рамках проектов Европейской комиссии и Межгосударственной целевой программы ЕврАзЭС (теперь - Атом СНГ) проводились и контролировались технико-экономическое обоснование и оценка воздействия на окружающую среду процесса восстановления урановых хвостохранилищ в Таджикистане (участки Дигмай и Табошар).

Обращение с урановым наследием сопровождается воздействием на окружающую среду. Интенсивность воздействия во многом зависит от количества образовавшихся отходов, степени их локализации и рассеяния в окружающей среде. Весь вопрос состоит в том, в какой мере это воздействие опасно для природной среды и здоровья человека. Критерием обеспечения безопасной деятельности является правильно поставленное регулирование этой проблемы [3].

Согласно Программе реализации Национальной концепции Республики Таджикистан по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2016-2024 годы, утверждённой постановлением Правительства Республики Таджикистан от 27 июля 2016 года, № 329, с целью обеспечения безопасности проживания населения и охраны окружающей среды в зоне влияния объектов наследия уранового производства и создания условий устойчивого экономического развития районов размещения объектов уранового наследия, перед специалистами Агентства по химический, биологической, радиационной и ядерной безопасности (АХБРЯБ) был поставлен ряд важнейших задач [4].

Одним из приоритетов этой программы является совершенствование законодательной и нормативной базы для управления безопасностью и восстановлением объектов уранового наследия, в которых сотрудники Агентства достигли определённых успехов.

В соответствии с пунктом 8 настоящей Концепции были проведены семинары и встречи по вопросам связей с общественностью, включающих отношение граждан, общественных объединений и организаций в сфере обращения с радиоактивными отходами. В ходе встреч представители органов местной власти, местные активисты и заинтересованные стороны были проинформированы о текущем состоянии объектов наследия урановой промышленности, Концепции, программе её реализации и перспективных проектах. Такие встречи помогают повысить уровень информированности на национальном, областном, районном и местном уровнях.

В 2020-2022 годах началась физическая реабилитация на некоторых участках наследия уранового производства, таких, как Табошар г. Истиклол и Дигмай Б. Гафуровского района Таджикистана. На момент проектирования реабилитации данного участка, в Таджикистане существовала только общая законодательная база в этой области и отсутствовали подробные нормативные правовые акты, регулирующие всю деятельность по восстановлению площадок уранового наследия. Следовательно, как для оператора, так и для регулирующего органа трудно было обеспечить радиационную безопасность, контролировать облучение работников и населения, и контролировать загрязнение окружающей среды во время восстановительных работ.

Группа специалистов Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности (Агентства) разработала ряд нормативных правовых актов в области обеспечения радиационной безопасности при проведении реабилитационных работ на объектах наследия уранового производства. Правовая база в этой области была пересмотрена в соответствии с международными требованиями и рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и Европейской комиссии, что помогло операторам урановых хвостохранилищ при обеспечении радиационной безопасности персонала и населения, а также проведения надзора во время восстановительных работ. Разработанные правила могут быть использованы всеми заинтересованными сторонами в регионе, у которых есть проблемы с обращением с отходами урановой промышленности.

Для того чтобы разработанные нормативные правовые акты соответствовали международным нормам безопасности, специалисты Агентства ознакомились с документами МАГАТЭ и законодательствами других стран в области инспектирования и лицензирования использования радиоактивных источников, радиоактивных отходов, использования атомной энергии и восстановления загрязнённых районов после производства урана: Основы безопасности SF-1, Общие требования безопасности: правительственные, юридические и Нормативно-правовая база безопасности GSR Part 1, Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международный базовый стандарт безопасности, GSR Part 3; Оценка безопасности для установок и видов деятельности, GSR Part 4; Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением, GSR Part 5; Удаление радиоактивных отходов - SSR-5; Серия норм безопасности МАГАТЭ, № WS-G-1.2; Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной защиты RS-G-1.8; Уведомление и разрешение на использование источников излучения GS-G-1.5; Руководство по авторизации и инспекции: обращение с радиоактивными отходами и другими.

Для улучшения законодательной базы в области обращения с радиоактивными отходами и управления объектами наследия уранового производства был применён систематический подход, от внесения дополнений и изменений в существующие законы до разработки подзаконных актов и руководств, завершающих логическую цепочку регулирования и применения со стороны операторов.

На основании Законов Республики Таджикистан «О радиационной безопасности», «Об обращении с радиоактивными отходами» и вышеуказанных документов был разработан ряд проектов нормативных правовых актов:

- «Внесение изменений в Закон Республики Таджикистан «Об использовании атомной энергии» в новой редакции. Цель изменения закона - приведение в соответствие с международными требованиями, конвенциями, особенно включение «всего жизненного цикла» ядерной установки от планирования до закрытия/реабилитации. Включение основных терминов и понятий ядерной и радиационной безопасности;

- «Внесение изменений в Закон Республики Таджикистан «О лицензировании отдельных видов деятельности» с целью: включения деятельности «всего жизненного цикла» ядерной установки от планирования до закрытия/реабилитации в список лицензируемой деятельности;

- «Внесение изменений в Закон Республики Таджикистан «Об Академии наук» с целью придания полномочий Академии наук и регулирующему органу, который находится при Академии наук, статуса исполнительного органа государственной власти;

- «Внесение изменений в Закон Республики Таджикистан «О нормативно-правовых актах» с целью придания полномочий регулирующему органу по разработке нормативных правовых актов в области ядерной и радиационной безопасности.

- «Внесение изменений в Закон Республики Таджикистан «О проверках хозяйствующих субъектов в Республике Таджикистан» с целью придания полномочий регулирующему органу проводить инспекции в полном объёме в области ядерной и радиационной безопасности;

- «Внесение изменений в Постановление Правительства Республики Таджикистан «О Положении об особенностях лицензирования отдельных видов деятельности (внесение изменений, касающихся обращения с радиоактивными отходами и конкретно реабилитационных мероприятий)», в котором определён список необходимых



документов для подачи заявки на лицензию для деятельности по реабилитации территорий, загрязнённых радиоактивными отходами (санитарно-эпидемиологическое заключение; заключение оценки воздействия на окружающую среду; оценка безопасности восстановительных работ; оценка воздействия на окружающую среду и технико-экономическое обоснование проекта консервации и реабилитации хвостохранилищ радиоактивных отходов; программа радиационной безопасности; проект (план) реабилитации и план его реализации; план реагирования на чрезвычайные ситуации; меры по обращению с радиоактивными отходами; сведения о транспортных средствах и документ, подтверждающий обучение по радиационной безопасности водителя (при перевозке радиоактивных отходов);

- «Внесение изменений в Постановление Правительства Республики Таджикистан «О государственном регулировании в сфере обеспечения радиационной безопасности» с целью укрепления полномочий регулирующего органа. Рекомендации и требования, указанные в Основах безопасности МАГАТЭ, GSR Parts 1 и 3, были включены в данный документ;

- «Правила реабилитации загрязнённых участков», которые устанавливают требования операторам, занимающимся реабилитацией территорий, загрязнённых радиоактивными отходами;

- «Порядок проведения экспертизы проектной документации для выдачи лицензий на деятельность по реабилитации территорий, загрязнённых урановым производством», который определяет процедуру рассмотрения и оценки проектной документации со стороны лицензирующего органа по вопросам реабилитации территорий, загрязнённых радиоактивными отходами. В данном документе особенно было уделено внимание системе управления проектом реабилитации, ситуации доз облучений, управления отходами, облучения населения, а также после реабилитационных мероприятий;

- «Порядок проверки процесса реабилитации территорий, загрязнённых урановым производством», который устанавливает процедуру проведения инспекции со стороны лицензирующего органа площадок реабилитации территорий, загрязнённых радиоактивными отходами. В данном документе особенно было уделено внимание продолжительности проекта реабилитации, мониторингу, дозам облучений, условиям рабочих мест, системе записей, а также программе инспекции, привлечения экспертов и отчетам инспекторов;

- «Правила проведения мониторинга во время и после проведения реабилитационных работ на территории объектов уранового наследия», которые устанавливают правила проведения мониторинга площадок реабилитации, загрязнённых радиоактивными отходами;

- «Руководство по характеристике площадок уранового наследия», которое устанавливает процедуру проведения инспекции со стороны лицензирующего органа площадок реабилитации территорий, загрязнённых радиоактивными отходами.

Все вышеуказанные документы были разработаны в кооперации с Норвежским агентством по радиационной и ядерной безопасности (DSA).

Разработанные нормативные правовые акты также направлены на решение следующих проблем:

– обеспечение безопасности проживания населения и охрана окружающей среды в зоне влияния объектов наследия уранового производства;

– создание условий устойчивого развития районов размещения объектов наследия;

– развитие и адаптация законодательной и нормативной базы управления безопасностью и реабилитацией объектов уранового наследия;

– развитие технической инфраструктуры подразделений и кадрового потенциала оператора и регулятора для эффективного осуществления своих функций;

– развитие социально-экономических условий проживания населения на территориях зоны влияния объектов бывшего уранового производства.

Кроме того, разработанные документы повлияют на выполнение Межгосударственной целевой программы стран СНГ «Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств», проекта Европейского Союза «Создание законодательной и нормативной базы, региональной системы мониторинга водосборных бассейнов и наращивание потенциала для восстановления унаследованных урановых месторождений в Центральной Азии», «Стратегический генеральный план - Экологическая реабилитация урановых объектов в Центральной Азии» под эгидой МАГАТЭ и проектов Европейского банка реконструкции и развития «Счёт экологической реабилитации фонда Центральной Азии».

В целом, в 2020-2022 годах в Республике Таджикистан были разработаны основные нормативные правовые акты в области управления отходами урановой промышленности, что привело к созданию интегрированного системного подхода разработки нормативно-правовой базы в этой области.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Хакдод, М. М.* Международные усилия по реабилитации объектов уранового наследия Таджикистана /М. М. Хакдод, З. В. Кобулиев, А. С. Хакдодов // В сборнике: Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века. – Минск, 2021. – Ч. 2. – С. 286–289.

2. *Хакдодов, М. М.* Урановые хвостохранилища в Республике Таджикистан: проблемы и пути их решения / Под общей редакцией д.т.н., профессора, члена-корреспондента НАНТ М. М. Хакдодова. -Душанбе: Мавлави, 2009. – 52 с.

3. Сравнительная оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилищ Согдийской области Таджикистана / У. М. Мирсаидов, Х. М. Назаров, М. М. Махмудова [и др.] // Радиация и риск. – 2022. – Т. 31. – № 2. – С. 118–127.

4. Программа реализации Национальной концепции Республики Таджикистан по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2016-2024 годы, утверждённая Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 27 июля 2016 года, № 329.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ НА ТЕРРИТОРИИ САНИТАРНОЙ ЗОНЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩ И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НИМ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ**

## **THE CONTENT OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS IN THE SOIL IN THE TERRITORY OF THE SANITARY ZONE OF THE TAILING FACILITIES AND THE ADJACENT SETTLEMENTS**

**У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Ш. А. Рахимбердиев,  
Е. Ю. Малышева, С. Г. Мухамедова**

**U. Mirsaidov, Kh. M. Nazarov, Sh. A. Rahimberdiev, E. Y. Malysheva, S. M. Mukhamedova**

*Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана,  
г. Душанбе, Республика Таджикистан, ulmas2005@mail.ru*

*Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of  
Sciences of Tajikistan,  
Dushanbe, Republic of Tajikistan*

В данной работе приводятся результаты изучения содержания радионуклидов и тяжелых металлов в почве на территории санитарной зоны некоторых хвостохранилищ уранового производства Таджикистана. Установлено, что удельная активность радионуклидов в почве имеет связь с ландшафтом местностей, а также миграцией радионуклидов и тяжёлых металлов от них.

This paper presents the results of studying the content of radionuclides and heavy metals in the soil on the territory of the sanitary zone of some tailings of uranium production in Tajikistan. It has been established that the specific activity of radionuclides in the soil is related to the terrain, as well as the migration of radionuclides and heavy metals from them.

*Ключевые слова:* почва, анализ, радионуклид, миграция, удельная активность.

*Keywords:* soil, analysis, radionuclide, migration, specific activity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-154-158>

Почва является наиболее ёмким и самым инерционным звеном в цепочках переноса радионуклидов. Во все компоненты почвы входят естественные радионуклиды (ЕРН). Особое внимание уделяется определению таких ЕРН, как  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , так как именно эти радионуклиды вносят основной вклад в формирование фоновой нагрузки на организм человека [1, 2].

В работах многих авторов [3, 4] отмечается актуальность проблемы изучения содержания естественных радионуклидов урана, радия и тория в почве.

Авторами данной работы исследованы пути миграции радионуклидов и тяжелых металлов в почве на территории санитарно-защитной зоны радиоактивных хвостохранилищ и прилегающих к ним населённых пунктов на территории Таджикистана.

*Окрестности хвостохранилища Адрасман.* Содержание урана в хвостовом материале Адрасманского хвостохранилища находится в пределах 0,02-0,08%. Удельные активности радионуклидов в хвостовом материале Адрасманского хвостохранилища и почвах прилегающего к нему посёлка Адрасман обобщены в таблице 1.

Анализ содержания  $^{226}\text{Ra}$  в почвах исследуемых территорий варьируется в достаточно широких пределах от 114 до 4205 Бк/кг. При этом обнаружено аномальное максимальное значение удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в почвах территории посёлка. Это связано со смывом хвостового материала селевыми потоками из тела радиоактивного хвостохранилища Адрасман.

Вариация значений удельной активности  $^{40}\text{K}$  во многом зависит от типов почв. В первичных горных породах его содержание наибольшее в кислых вулканических породах, гранитах и др. Из осадочных пород наибольшим

содержанием  $^{40}\text{K}$  обладают сланцы и песчаники. Максимальное значение удельной активности  $^{40}\text{K}$  в почвах, отобранных на территории посёлка Адрасман, доходит до 1734 Бк/кг.

Таблица 1

*Удельные активности радионуклидов в хвостовом материале  
Адрасманского хвостохранилища и почвах прилегающего к нему посёлка Адрасман*

| Объект           | Значение | $A_{\text{уд.}}$ , Бк/кг |                   |                   |
|------------------|----------|--------------------------|-------------------|-------------------|
|                  |          | $^{40}\text{K}$          | $^{226}\text{Ra}$ | $^{228}\text{Th}$ |
| Хвостохранилище  | минимум  | 1126                     | 2887              | 88                |
|                  | максимум | 1812                     | 29677             | 342               |
|                  | средние  | 1173                     | 15882             | 186               |
| Посёлок Адрасман | минимум  | 963                      | 114               | -                 |
|                  | максимум | 1734                     | 4205*             | -                 |
|                  | средние  | 1348                     | 2159              | -                 |

Анализ содержания тяжёлых металлов в почвах, отобранных на различных расстояниях от центра радиоактивного хвостохранилища Адрасман, показывает закономерность распространения свинца и цинка по направлению розы ветров. Содержание тяжёлых металлов в почвах, отобранных на территории санитарно-защитной зоны радиоактивного хвостохранилища и прилегающего к нему посёлка Адрасман, обобщены в таблице 2.

Таблица 2

*Содержание тяжёлых металлов в почвах, отобранных на территории санитарно-защитной  
зоны радиоактивного хвостохранилища и прилегающего к нему посёлка Адрасман*

| Объект           | Значение | Содержание элементов, мг/кг |        |       |       |       |       |        |
|------------------|----------|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                  |          | Pb                          | Zn     | Cu    | Ni    | Cr    | Co    | Mn     |
| Хвостохранилище  | минимум  | 11,43                       | 158,76 | 23,53 | 12,44 | 61,40 | -     | 99,74  |
|                  | максимум | 203,32                      | 297,17 | 42,52 | 32,57 | 64,98 | 23,00 | 101,59 |
|                  | средние  | 74,54                       | 202,17 | 24,47 | 14,14 | 61,86 | 9,57  | 103,08 |
| Посёлок Адрасман | минимум  | 3,52                        | 95,88  | 24,16 | 14,62 | 61,96 | 0,11  | 90,28  |
|                  | максимум | 4673                        | 2125   | 48,26 | 93,69 | 73,77 | 29,30 | 99,53  |
|                  | средние  | 788                         | 591    | 41    | 33    | 66    | 5,58  | 95,62  |

Установлено, что независимо от расстояния от тела хвостохранилища, содержание тяжёлых металлов, таких, как никель, хром и медь, составляет ниже 100 мг/кг в почвах, содержание цинка в почвах колеблется в пределах 200-2000 мг/кг, а свинца – 80–4000 мг/кг [8, 9].

*Окрестности хвостохранилища г. Истиклол.* Содержание урана в хвостовом материале хвостохранилищ I-II очереди находится в пределах 0,003-0,029 % со средним значением 0,011%; в хвостохранилище III очереди – 0,004–0,022 % со средним значением 0,011 %; в хвостохранилище IV очереди – 0,007–0,013 % со средним значением 0,001 %; в отвалах фабрики бедных руд – 0,006-0,007 % со средним значением 0,0066 %; в отвалах карьера – 0,009–0,011 со средним значением 0,010 %. С целью определения радиоактивного загрязнения почво-грунтов, с поверхности хвостохранилищ г. Истиклол и прилегающих территорий при выполнении геохимического опробования были отобраны 45 проб. Результаты радиометрического анализа проб на содержание в них ЕРН приведены в таблице 3.

Анализ результатов, приведённых в таблице 3, показывает, что основное радиоактивное загрязнение прилегающих к радиационно-опасным объектам территорий, прежде всего, связано с выносом сосредоточенных в них отходов. А также имеют место отдельные аномалии, связанные с несанкционированной разгрузкой радиоактивных материалов и нарушениями технологического режима в процессе эксплуатации рудников.

*Окрестности хвостохранилища «Карта 1-9».* Содержание урана в хвостовом материале находится в пределах 0,009–0,021 %. Содержание радионуклидов в хвостовом материале хвостохранилища «Карта 1-9» обобщено в таблице 4.

В процессе проведения литохимических исследований в пробах захоронённых радиоактивных отходов и почво-грунтов изучалось содержание элементов ЕРН и тяжёлых металлов. Результаты анализа проб приведены в таблице 5.

Таблица 3

Удельные активности радионуклидов в хвостовом материале г. Истиклол

| Объект                       | Значение | A <sub>уд.</sub> , Бк/кг |                   |                   |
|------------------------------|----------|--------------------------|-------------------|-------------------|
|                              |          | <sup>40</sup> K          | <sup>226</sup> Ra | <sup>228</sup> Th |
| Хвостохранилище I-II очереди | минимум  | 655                      | 4980              | 92                |
|                              | максимум | 1480                     | 11000             | 152               |
|                              | средние  | 1268                     | 7298              | 130               |
| Хвостохранилище III очереди  | минимум  | 345                      | 1450              | 79                |
|                              | максимум | 691                      | 8140              | 151               |
|                              | средние  | 469                      | 4812              | 93                |
| Хвостохранилище IV очереди   | минимум  | 346                      | 1210              | 61                |
|                              | максимум | 1580                     | 27500             | 446               |
|                              | средние  | 968                      | 11355             | 89                |
| Отвалы фабрики бедных руд    | минимум  | 1112                     | 12106             | 430               |
|                              | максимум | 1480                     | 180120            | 748               |
|                              | средние  | 1275                     | 96113             | 585               |
| Отвалы карьера               | минимум  | 1470                     | 346               | 66                |
|                              | максимум | 1530                     | 872               | 71                |
|                              | средние  | 1500                     | 609               | 68,5              |

Таблица 4

Распределение содержания долгоживущих радионуклидов хвостохранилища «Карта 1-9»

| Значение | A <sub>уд.</sub> , Бк/кг |                   |                   |
|----------|--------------------------|-------------------|-------------------|
|          | <sup>40</sup> K          | <sup>226</sup> Ra | <sup>228</sup> Th |
| Минимум  | 2660                     | 2490              | 88                |
| Максимум | 6840                     | 42760             | 560               |

Таблица 5

Содержание тяжёлых металлов в почвах, отобранных на территории санитарной зоны хвостохранилища «Карта 1-9» и прилегающих к нему населённых пунктов

| Объект               | Значение | Содержание элементов, % |        |       |       |        |
|----------------------|----------|-------------------------|--------|-------|-------|--------|
|                      |          | Pb                      | Zn     | Cu    | Ni    | Cr     |
| Радиоактивные отходы | минимум  | 0,012                   | 0,011  | 0,015 | 0,018 | 0,007  |
|                      | максимум | 0,088                   | 0,048  | 0,032 | 0,028 | 0,008  |
|                      | средние  | 0,054                   | 0,28   | 0,027 | 0,023 | 0,0076 |
| Почво-грунты         | минимум  | 0,005                   | 0,005  | 0,004 | 0,006 | 0,0032 |
|                      | максимум | 0,008                   | 0,006  | 0,004 | 0,008 | 0,0038 |
|                      | средние  | 0,006                   | 0,0055 | 0,004 | 0,007 | 0,0035 |
|                      | фоновое  | 0,001                   | 0,003  | 0,001 | 0,004 | 0,003  |

Окрестности хвостохранилища Дигмай. Содержание урана в хвостовом материале находится в пределах 0,003–0,006 %. Содержание радионуклидов в хвостовом материале хвостохранилища Дигмай обобщено в таблице 6.

Таблица 6

Распределение содержания долгоживущих радионуклидов хвостохранилища Дигмай

| Объект          | Значение | A <sub>уд.</sub> , Бк/кг |                   |                   |
|-----------------|----------|--------------------------|-------------------|-------------------|
|                 |          | <sup>40</sup> K          | <sup>226</sup> Ra | <sup>228</sup> Th |
| Хвостохранилище | минимум  | 592                      | 1468              | 33                |
|                 | максимум | 5957                     | 3397              | 133               |
|                 | средние  | 3274                     | 2432              | 83                |
| Посёлок Газиён  | средние  | -                        | 65                | 24                |
|                 | фоновые  | -                        | 32                | 12                |

Авторами работ [5] выделены 4 зоны наблюдения: рабочая зона, которую разделили на две секции хвостохранилища и зона наблюдения, к которой прилегают соответственно по каждой секции. Среднее содержание тяжёлых металлов в почве не превышает показателей ПДК, предусмотренных нормативными документами.

В табл. 7 представлены данные о валовом содержании тяжёлых металлов в почвах вокруг хвостохранилища.

Таблица 7

*Показатели загрязнения почвы тяжёлыми металлами в зоне хвостохранилища Дигмай*

| Объект                      | Содержание элементов, мг/кг |       |      |      |      |      |        |
|-----------------------------|-----------------------------|-------|------|------|------|------|--------|
|                             | Pb                          | Zn    | Cu   | Ni   | Cd   | Co   | Mn     |
| Рабочая зона - I секция     | 0,58                        | 18,75 | 9,82 | 6,18 | 0,06 | 0,49 | 426,17 |
| Рабочая зона - II секция    | 0,64                        | 14,46 | 6,25 | 5,20 | 0,04 | 0,49 | 251,76 |
| Зона наблюдения - I секция  | 0,29                        | 14,21 | 6,40 | 6,46 | 0,05 | 0,42 | 326,41 |
| Зона наблюдения - II секция | 0,53                        | 17,23 | 9,51 | 5,37 | 0,04 | 0,67 | 383,61 |

В рабочей зоне I секции валовое содержание Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni значительно превышает эти показатели во II секции. Это свидетельствует о переносе тяжёлых металлов с хвостохранилища на близлежащую территорию рабочей зоны, а также о различном характере отходов, складированных в I и II секциях. По мере удаления от границ хвостохранилища, где в большей степени проявляется действие нелокального источника, картина меняется. В зоне наблюдения вокруг II секции валовое содержание тяжёлых металлов выше, чем вокруг I секции. В таблице 8 представлены данные о содержании четырёх тяжёлых металлов в грунтах непосредственно вокруг хвостохранилища.

Таблица 8

*Содержание валовых и подвижных форм тяжёлых металлов в почвах санитарной зоны хвостохранилища Дигмай*

| Значение | Содержание металлов, мг/кг |                 |                    |                 |                    |                 |                    |
|----------|----------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|          | Ni                         |                 | Cu                 |                 | Zn                 |                 | Mn                 |
|          | валовое содержание         | подвижные формы | валовое содержание | подвижные формы | валовое содержание | подвижные формы | валовое содержание |
| Минимум  | 16,35                      | 0               | 9,18               | 0               | 28,03              | 1,60            | 68,37              |
| Максимум | 31,34                      | 20              | 46,71              | 5,4             | 89,19              | 25,20           | 693,72             |
| Средние  | 22,58                      | 1,67            | 20,88              | 0,86            | 50,42              | 7,30            | 348,51             |

*Примечание: ПДК для валовых форм Mn – 1500 мг/кг, для подвижных форм Cu – 3,0 мг/кг; Ni – 4,0 мг/кг; Zn – 23 мг/кг.*

Сравнение с данными таблицы 7 показывает, что валовое содержание Ni и Zn значительно выше, чем в среднем по всей рабочей зоне. Значительные колебания отмечены для валового содержания Cu. Содержание подвижных форм Ni, Zn и Cu имеет очень мозаичную картину: от почти отсутствия их в некоторых точках до превышений ПДК (Zn, Cu).

Не удалось установить чёткой закономерности изменения содержания подвижных форм при повышении содержания валовых форм, хотя такая тенденция имеет место. Показано, что хвостохранилище отходов переработки урановых руд является локальным источником загрязнения грунтов тяжёлыми металлами. В связи с этим, имеется необходимость принятия срочных мер по предотвращению дальнейшего воздействия хвостохранилища на окружающую среду.

По результатам исследования отмечается, что распространение долгоживущих естественных радионуклидов в санитарно-защитную зону и прилегающих к ней населённых пунктов осуществляется их миграцией.

Также отмечается перераспределение тяжёлых металлов независимо от расстояния радиоактивного хвостохранилища по направлению розы ветров. В то же время установлено, что рельеф местности является главным звеном, влияющим на распределение тяжёлых металлов в ландшафте. Определены пути и направления миграции тяжёлых металлов в зависимости от розы ветров, а также по течению реки. Наибольшая миграционная способность среди изученных тяжёлых металлов отмечается у свинца.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бураева, Е. А. Удельная активность радионуклидов в почвах урбанизированных территорий Ростовской области / Е. А. Бураева // Живые и биокосные системы. – 2022. – № 40; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-40/article-3/>. DOI: 10.18522/2308-9709-2022-40-3.
2. Голубцов, А. Р. Геоэкологическая оценка состояния окружающей среды Новочеркасска / А. Р. Голубцов // Устойчивое развитие науки и образования. – 2020. – № 3. – С. 78–84.
3. Рачкова, Н. Г. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория (обзор) / Н. Г. Рачкова, И. И. Шуктомова, А. И. Таскаев // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 698–705.



4. Сравнительная оценка содержания в почвах магнитных сферул,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}$  для целей индикации эрозивно-аккумулятивных процессов / А. Н. Геннадиев, В. Н. Голосов, С. С. Чернянский [и др.] // Почвоведение. – 2006. – № 10. – С. 1218–1234.

5. Валовое и подвижное распределение форм тяжёлых металлов в почвах, прилегающих к хвостохранилищу радиоактивных отходов Дигмай / Д. И. Мирзоев, М. М. Юнусов, Х. М. Назаров [и др.] // Международная научно-практическая конференция «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». – Бустон, Горно-металлургический институт Таджикистана, 2016. – С. 140–143.

## **БЕЛОРУССКИЙ ПОРТАЛ ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ BeINET: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА BELARUSIAN PORTAL OF NUCLEAR KNOWLEDGE BeINET: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW**

**С. Н. Сытова, А. Р. Барткевич, К. А. Веренич, В. В. Гавриловец, А. П. Дунец,  
А. Н. Коваленко, Н. И. Поляк, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица  
S. N. Sytova, A. R. Bartkevich, K. A. Verenich, V. V. Haurilavets,  
A. P. Dunets, A. N. Kavalenka, N. I. Polyak, A. L. Kholmeckii, S. V. Charapitsa**

*Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, НИИ ЯП БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь, sytova@inp.bsu.by*

*Research Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University, INP BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Представлен обзор электронного портала ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь BelNET (Belarusian Nuclear Education and Training Portal) <https://belnet.bsu.by/>, включая историю его создания, особенности и краткое описание контента. Также рассмотрена концепция менеджмента ядерных знаний, которую реализует портал BelNET. В настоящее время портал является активно развивающимся, постоянно обновляющимся и расширяющимся. Аудитория портала – тысячи человек в Республике Беларусь и за ее пределами, включая студентов вузов и школьников, научных сотрудников и преподавателей, работников госучреждений, предприятий и организаций, использующих в своей деятельности ядерные и радиоактивные материалы, источники ионизирующего излучения, оборудование, генерирующее ионизирующее излучение.

An overview of the electronic portal of nuclear knowledge of educational institutions of the Republic of Belarus BelNET (Belarusian Nuclear Education and Training Portal) <https://belnet.bsu.by/> is presented, including the history of its creation, features and a brief description of the content. The concept of nuclear knowledge management, which is implemented by portal BelNET, is also considered. Currently, the portal is actively developing, constantly updated and expanding. The audience of the portal is thousands of people in the Republic of Belarus and abroad, including students, researchers and teachers, employees of state institutions, enterprises and organizations using nuclear and radioactive materials, sources of ionizing radiation, equipment that generates ionizing radiation in their activities.

*Ключевые слова:* менеджмент ядерных знаний, МАГАТЭ, информационные технологии, свободное программное обеспечение.

*Keywords:* nuclear knowledge management, IAEA, information technology, free software.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-158-162>

**Введение.** Менеджмент ядерных знаний активно развивается Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), начиная с начала XXI века [1, 2]. Управление (менеджмент) ядерными знаниями (УЯЗ) предполагает комплексные процессы создания, сбора, активного использования, сохранения и поддержания в широком диапазоне ядерной науки, техники, технологий, а также других областей. Его цель – развитие и сохранение технических знаний и компетенций, необходимых для успешной реализации различных ядерно-энергетических программ государств-членов МАГАТЭ, включая адекватное понимание соответствующих вопросов безопасности.

Эффективное управление ядерными знаниями помогает реализации этой цели на протяжении всего жизненного цикла ядерных технологий в изменяющихся условиях: от безопасного и эффективного проектирования, строительства, лицензирования, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, технического обслуживания до вывода из эксплуатации систем, основанных на таких технологиях. История создания и развития ядерных технологий в XX–XXI веках неоднократно ярко демонстрировала, что на способность организаций, эксплуатирующих или использующих ядерные технологии, принимать безопасные решения и действия могут влиять пробелы в знаниях

или их потеря. Замена уходящих на пенсию сотрудников и привлечение молодого поколения к карьере в ядерной области являются ключевыми задачами. Странам с создающимися ядерно-энергетическими программами требуются квалифицированные и подготовленные человеческие ресурсы для проектирования и эксплуатации будущих ядерных установок. Крайне важно наращивание потенциала посредством образования, обучения и передачи знаний. Для создания и управления ядерными знаниями, компетенциями, информацией, рабочими процессами и их интерпретацией необходимы соответствующие методы управления знаниями и современные информационные технологии.

Признавая важность УЯЗ, МАГАТЭ разрабатывает методы и руководящие документы для планирования, разработки и осуществления программ УЯЗ и содействует ядерному образованию, предоставляя поддержку, возможности для налаживания связей и обмена опытом. Цель МАГАТЭ – повысить осведомленность государств-членов о проблемах в развитии УЯЗ, поделиться передовым опытом и предоставить форум для обмена информацией между участвующими специалистами-ядерщиками.

В последние годы развитие систем управления ядерными знаниями (СУЯЗ) становится все более важным элементом управления ядерным сектором. Особенно это касается стран-новичков, с нуля или почти с нуля строящих свои ядерные программы. Они должны подготовить квалифицированные людские ресурсы, необходимые для обеспечения безопасной эксплуатации ядерных установок и связанных с ними программ обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами. Как говорилось выше, замена уходящих на пенсию сотрудников и привлечение молодого поколения к карьере в ядерной области являются ключевыми задачами. Это справедливо как в области производства энергии, так и в медицине, например, при углубленных исследованиях или лечении рака, в производстве и сельском хозяйстве. То есть, наращивание потенциала ядерной отрасли как в части строительства, так и в части безопасной эксплуатации ядерных установок, эффективного использования источников ионизирующего излучения и безопасного обращения с радиоактивными отходами возможно только посредством образования, обучения и передачи знаний.

Место Республики Беларусь в широком диапазоне ядерных знаний определяется ценностью ее как страны-новичка с огромным специфическим опытом в области ядерной и радиационной безопасности, успешно реализовавшей с нуля ядерную энергетическую программу. Многие страны и международные организации все больше и больше обращаются к изучению белорусского опыта развития инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности на основе современных требований МАГАТЭ, а также успешного преодоления последствий Чернобыльской аварии и использованию широких возможностей готовой экспериментальной площадки в Чернобыльской зоне для различных научных исследований. Стратегической целью является создание полноценной системы управления ядерными знаниями в Республике Беларусь. Важным элементом в этой системе должен стать портал ядерных знаний BelNET.

**История портала BelNET.** В январе 2013 г. на химическом факультете Белгосуниверситета проводился семинар МАГАТЭ, посвященный менеджменту ядерных знаний. На этом семинаре подробно рассказывалось о принципах и теории УЯЗ, а также о необходимости разработки и развития портала ядерных знаний для любой страны, строящей свою атомную станцию.

Сотрудники Института ядерных проблем БГУ, специалисты в области ядерной физики и имевшие опыт по разработке фреймворка eLab [3] на основе свободного программного обеспечения и внедрившие его в 202 Химмотологическом центре горючего для контроля качества и учета горюче-смазочных материалов (ГСМ) Вооруженных Сил Республики Беларусь, решили стать инициаторами создания первого белорусского портала ядерных знаний.

На первый взгляд было очень удивительно предложить в качестве основы системы управления контентом научного образовательного интернет-портала систему электронного документооборота для горюче-смазочных материалов. Это действительно возможно? Да! Это было очень оригинальное и эффективное решение, реализованное в 2014 году. Почему это стало возможным? Из-за принципов, лежащих в основе информационной системы – фреймворка eLab. Каковы эти принципы? Это принципы свободного программного обеспечения (СПО) и системного процессного подхода [3].

В настоящее время СПО (Free Software) занимает большую нишу на мировом рынке информационных технологий, предоставляя пользователю, в отличие от проприетарного (лицензионного, коммерческого) ПО, четыре основные свободы и права: право на неограниченную установку, бесплатное использование, модификацию и передачу программного обеспечения. Сейчас мы наблюдаем широкий разворот ИТ-рынка к свободному ПО на Западе, на Востоке, на постсоветском пространстве, в Республике Беларусь.

Итак, система управления контентом научного образовательного интернет-портала eLab-Science на основе СПО фреймворка eLab, а также портал ядерных знаний BelNET были созданы в 2014 – 2018 гг. Работы проводились в рамках выполнения заданий Государственных программ научных исследований «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» и «Энергетические системы, процессы и технологии». Его дальнейшее развитие происходит в рамках заданий Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» и Сводного перечня научных исследований и разработок по развитию государственной системы научно-технической информации Республики Беларусь (ГСНТИ) на 2021–2025 годы.

В настоящее время портал BelNET – единственный крупный научно-технический информационный ресурс в области ядерных знаний в Республике Беларусь. Цели и задачи BelNET полностью находятся в русле политики

белорусского государства в области развития системы научно-технической информации и реализуют международные подходы МАГАТЭ к менеджменту ядерных знаний. Также с помощью eLab-Science созданы научный портал CoExAN проекта в области нанотехнологий программы Горизонт 2020 <https://coexan.bsu.by/> и электронный портал eLab <https://elab.bsu.by/>. Особенности eLab-Science см. в [3].



Рисунок 1 – Раздел «Роль личности в развитии ядерных знаний» портала BelNET

**Свежий контент портала BelNET.** К началу 2023 года общее количество записей портала BelNET превышает 3000. Более того, за прошедший год их количество практически удвоилось. Следует отметить, что это, вероятно, единственный портал в стране, кроме информационных агентств и онлайн-газет, с таким количеством новых записей.

Ежедневно размещаются актуальные новости МАГАТЭ, Госкорпорации Росатом, мировых научных центров – ОИЯИ, ЦЕРН, DESY и др. Разработаны оригинальные информационные циклы. Это цикл, посвященный Нобелевским премиям в области физики, включая информацию о Нобелевских лауреатах – выходцах из Беларуси, циклы «Термоядерный синтез», «В этот день в истории», «Роль личности в развитии ядерных знаний» (см. Рис. 1). В 2022 году созданы новые разделы «Беларусь – портал практических ядерных знаний», «Страны мира в пространстве ядерных знаний». Созданы тематические подборки и оригинальные циклы новостей в области ядерных знаний по таким странам, как Корея, Таиланд, Япония, Литва, Финляндия, Казахстан и др. Разрабатывается Календарь событий в широком диапазоне ядерных знаний. В настоящий момент он содержит свыше 1500 записей по всем дням года и продолжает расширяться.

Разрабатываются принципы функционирования на основе портала BelNET специализированной информационной архивной онлайн-системы управления ядерными знаниями. Здесь планируется предоставление удобного инструмента для быстрой бесплатной свободной публикации в интернете в электронном архиве оригинальных материалов (предпубликаций, научных отчетов, технической информации и т.д.) в области ядерных знаний, в том числе в области атомной энергетики, ядерных исследований и технологий – для вовлечения Республики Беларусь в общемировое единое информационное пространство в области научных знаний. В 2022 г. на BelNET создан раздел «Научный архив», прототип архивной онлайн-системы. В настоящий момент он содержит 90 записей, из них – 70 авторефератов диссертаций, в том числе ведущих белорусских ученых в области ядерных знаний.

Учитывая важность тематики по мессбауэровской спектроскопии и огромный задел белорусских ученых в данной области, важный для развития студентов, обучающихся в белорусских вузах, и до сих пор никак не систематизированный, в 2022 г. принято решение о разработке и размещении на портале BelNET оригинального блока информации по мессбауэровской спектроскопии следующего содержания:

1. Физические основы эффекта Мессбауэра
2. Сверхтонкие взаимодействия в ядрах
3. Экспериментальная техника эффекта Мессбауэра
4. Вклад БГУ в развитие экспериментальной техники эффекта Мессбауэра
5. Научные и практические применения эффекта Мессбауэра

**Онлайн-курс «физика ядра и ионизирующего излучения в вопросах и задачах».** Портал BelNET изначально позиционировался как научный и образовательный ресурс в области ядерных знаний [4]. Распространение новых форм обучения в развитых странах является закономерным этапом развития и адаптации образования к современным

условиям. Вузы постепенно меняют принципы организации образовательного процесса, создавая условия для реализации гибкого, индивидуализированного обучения. И одним из основных инструментов разработки и внедрения инновационных образовательных моделей являются активно развивающиеся информационно-коммуникационные технологии. Именно они заложили фундамент и определили генеральную линию развития дистанционных образовательных технологий — одних из самых востребованных организационно-педагогических моделей, в настоящее время широко используемых как в чистом виде, так и (наиболее часто) в интеграции с классическими формами обучения.

Будучи особой системой передачи знаний, дистанционные образовательные технологии требуют специальной методики разработки учебных пособий, особой стратегии преподавания, особых средств коммуникации посредством электронных или иных технологий, равно как и специальных организационных и административных решений. Успешно решенные такого рода задачи могут давать хорошую альтернативу решения некоторых проблем классического образования (например, нехватка аудиторного времени, пассивное усвоение информации) или базу для организации новых форм обучения.

Как правило, проблема технической реализуемости дистанционных образовательных технологий в рамках университетов не стоит — развернуты и поддерживаются платформы системы управления обучением, в частности, виртуальная обучающая среда Moodle. Использование такого рода платформ при всех их неоспоримых преимуществах ограничено локальным доступом в рамках того или иного образовательного учреждения. Реализация, например, единой системы поддержки и содействия общенациональных образовательных программ требует альтернативных программных продуктов. Одним из таковых в нашей стране является портал BelNET. Разработанный на основе свободного программного обеспечения, он может быть модифицирован и адаптирован под применение дистанционных образовательных технологий.

Традиционная подготовка специалистов-ядерщиков базируется на фундаментальной подготовке по физико-математическим дисциплинам. Одно из центральных мест здесь занимает общий курс ядерной физики, имеющий, несмотря на различие программ, базовый набор тем для изучения. Необходимым образовательным элементом в изучении ядерной физики, помимо лекций и лабораторных занятий, являются практические занятия по решению задач. Зачастую организация этих занятий, а также самостоятельной работы студентов, определяется инициативой самих преподавателей, которая заключается прежде всего в привлечении в образовательный процесс элементов дистанционных образовательных технологий. Основная причина такого положения дел — это отсутствие универсального современного задачника по ядерной физике (по крайней мере, в русскоязычном пространстве), охватывающего наиболее полно стандартный перечень вопросов. Возможной альтернативой мог бы служить проект МГУ “Ядерная физика в интернете”, однако для занятий по решению задач этот вариант не совсем удачен, т.к. большинство задач приводятся с решениями, и это, как правило, совсем не мотивирует студентов к продуктивной самостоятельной работе.

Создаваемый на портале BelNET оригинальный белорусский онлайн-курс “Физика ядра и ионизирующего излучения в вопросах и задачах” — учебный открытый онлайн-курс по решению задач по основным разделам ядерной физики для учащихся непрофильных специальностей, слушателей курсов повышения квалификации и переподготовки. Ориентиром при выборе перечня тем Курса выступила стандартная программа Региональных последипломных образовательных курсов МАГАТЭ по радиационной защите и безопасности источников ионизирующего излучения. Перечень тем охватывает базовые вопросы физики ядра, ядерных реакций, физики ионизирующего излучения, не требующих знания квантовой механики. Курс способствует получению навыков расчетов величин, параметров, характеристик основных явлений и процессов рассматриваемого круга тем. Курс является обобщением многолетнего опыта проведения семинарских занятий на физическом факультете БГУ по дисциплине “Физика ядра и элементарных частиц”, а также преподавания на различных курсах повышения квалификации и переподготовки в области ядерной и радиационной безопасности. Поскольку Курс охватывает стандартный базовый круг тем, он может быть использован студентами всех специальностей ядерного профиля (например, специальности “Ядерная физика и технологии” БГУ, “Проектирование и эксплуатация атомных электрических станций” БНТУ, “Ядерная и радиационная безопасность” МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ), а также теми, кто приступает к изучению ядерной физики.

Приведем основные темы курса:

1. Масштабы величин в ядерной физике и их единицы измерения. Основные формулы релятивистской кинематики.

2. Атомное ядро. Энергия связи.

3. Радиоактивность. Основной закон радиоактивного распада.

4. Кинематика упругого рассеяния частиц.

5. Ядерные реакции. Законы сохранения.

6. Кинематика двучастичной ядерной реакции.

7. Сечение и выход ядерной реакции.

8. Реакция деления.

9. Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество.

10. Прохождение легких заряженных частиц через вещество.

11. Взаимодействие  $\gamma$ -квантов с веществом.

12. Дозиметрия.



Каждая тема имеет единую структуру, элементы (подразделы) которой расположены в логической последовательности, способствующей глубокому изучению вопроса, получению, а также отработке соответствующих навыков. Поскольку портал BelNET функционирует прежде всего как информационная архивная онлайн-система, для организации прозрачной структуры каждой темы создается “информационная страница” темы в виде краткого ее содержания со ссылками на соответствующие страницы раздела, которые представляют собой интегрированные в среду портала веб-страницы, созданные средствами html-кода. Это позволяет не только создавать ссылки на формулы, определения, справочные данные, но и задавать нужную траекторию обучения через переходы между элементами раздела (в виде ссылок на следующие страницы).

Подраздел “Теоретическая часть” содержит основные теоретические сведения (определения, формулы), необходимые для решения задач. Как правило, изложение данной части лаконично и сжато, поскольку обычно семинарские занятия идут параллельно лекционным, и студенты / слушатели хорошо подготовлены в теоретическом плане. При самостоятельном же изучении темы или для повторения пройденного лекционного материала рекомендуется ознакомиться с более подробным изложением вопроса в учебниках, а потом приступить к чтению параграфов Теоретической части. Перечень учебников с конкретными параграфами и страницами приведен в начале каждой темы.

В “Контрольных вопросах и заданиях” приводятся вопросы по теории и простые задачи, решение которых не связано с большими вычислениями, но которые хорошо иллюстрируют то или иное теоретическое положение. Многие контрольные вопросы направлены на раскрытие сути физических явлений, определений, соотношений, условий. Этот подраздел является промежуточным, но важным переходным этапом к конкретным применениям теоретических знаний — он дает возможность самостоятельно проконтролировать усвоение основных понятий. В условиях очных занятий он может быть использован в качестве блиц-опроса для проверки готовности студентов к семинару.

В подразделе “Примеры решения задач” разбираются типичные примеры, демонстрирующие применение на практике положений теории. Выбор задач здесь диктуется необходимостью демонстрации всех возможных вариантов стандартных задач и методов их решений, а также заострением внимания на некоторых теоретических аспектах и нюансах. Количество разобранных примеров варьируется в зависимости от объема и важности темы. В подразделе “Задачи” приведен перечень задач по рассматриваемой теме с ответами и, если это необходимо, с указанием пути решения. Для удобства ответы и указания выводятся при клике на кнопку «Ответ» под каждой задачей на этой же странице.

Для проведения соответствующей диагностики по достигнутым целям обучения разработана система тестов, где к каждой цели обучения с помощью ссылки прикрепляется тест с некоторым главным вопросом в виде немного переформулированной цели и перечня наводящих вопросов с вариантами ответов, которые позволяют проверить степень усвоения основного вопроса.

**Заключение.** Важность проводимой работы по развитию портала BelNET состоит в создании оригинальных научных и научно-методических материалов мирового уровня, которые необходимы для обучения студентов вузов ядерно-физического профиля. Впереди у портала BelNET большие перспективы, поскольку на его основе создается и развивается Система управления ядерными знаниями в Республике Беларусь [5].

*Работа выполняется в рамках Мероприятия 3.1 Сводного перечня научных исследований и разработок по развитию ГСНТИ Республики Беларусь на 2021–2025 годы.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Управление рисками, связанными с потерей знаний в организациях ядерной промышленности. STI/PUB/1248 | 978-92-0-432210-1. – Вена: МАГАТЭ, 2012. – 36 с.
2. Управление знаниями в научно-исследовательских и проектных ядерных организациях. Серия технических документов МАГАТЭ. IAEA-TECDOC-1675 | 978-92-0-408315-6. – Вена: МАГАТЭ, 2016. – 82 с.
3. Сытова, С. Н. Информационная система eLab в науке, практике, образовании / С. Н. Сытова. – Мн.: Изд. Центр БГУ, 2021. – 202 с.
4. Sytova, S. Belarusian software for nuclear knowledge management / S. Sytova // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2021. – Vol. 22, No. 1. – P. 104–110.
5. Сытова, С.Н. Система управления ядерными знаниями в Республике Беларусь / С. Н. Сытова // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2022, № 2. – С.87–98.



**ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ СОТРУДНИКОВ ПГРЭЗ  
ЗА СЧЕТ ИНГАЛЯЦИОННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ**  
**INTERNAL EXPOSURE OF EMPLOYEES PSRER  
FROM RADIOACTIVE NUCLIDES INHALATION INTAKE**

***Н. В. Блинова, С. А. Калиниченко, В. Н. Калинин***  
***N. V. Blinova, S. A. Kalinichenko, V. N. Kalinin***

*Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский  
государственный радиационно-экологический заповедник»  
Хойники, Республика Беларусь  
zapovednik.nauka@mail.ru*

*The state nature protection research establishment «Poleski state radiation-ecological reserve»  
Khoyniki, Republic of Belarus*

Производственная деятельность сотрудников лесничеств и специалистов других служб Полесского государственного радиационно-экологического заповедника связана с пребыванием в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. В воздухе зоны отчуждения содержатся радионуклиды, поступающие в него за счет вторичного ветрового подъема. Поступление радионуклидов в организм человека при дыхании может привести к дополнительному внутреннему облучению. Для оценки дозы внутреннего облучения, связанной с ингаляционным поступлением радионуклидов в организм человека, был выполнен отбор проб аэрозолей приземного слоя воздуха с последующим определением активности радионуклидов методом гамма-спектрометрии с использованием полупроводникового детектора из особо чистого германия.

Industrial activity of employees in forest areas and experts of other services of Poleski state radiation-ecological reserve is connected to stay in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant. The air of the exclusion zone contains radioactive nuclides, arriving at it at the expense of secondary wind lifting. Intake of radioactive nuclides in a human body at breath can lead to an additional internal exposure. For an estimation of a dose of an internal exposure, connected with radioactive nuclides inhalation intake in a human body, sampling of aerosols of a ground layer of air with the subsequent definition of radioactive nuclide activity with help gamma-spectrometry method with the use of the broad energy germanium detectors, has been executed.

*Ключевые слова:* вторичный ветровой подъем, аэрозоль, радионуклид, доза внутреннего облучения, отбор проб.

*Keywords:* secondary wind lifting, aerosol, radioactive nuclide, internal exposure, sampling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-163-166>

Ветровой подъем частиц пыли с поверхностного слоя почвы и других элементов подстилающей поверхности, загрязненной радиоактивными веществами, становится одним из основных механизмов поступления радиоактивного материала в приземный слой воздуха. Подстилающая поверхность является постоянным поверхностным источником аэрозоля с меняющейся скоростью эмиссии вещества в зависимости от метеорологических условий и характера подстилающей поверхности. Подъем радиоактивности за год за счет действия ветрового потока в умеренных широтах достигает десятой доли процента от осадженного на подстилающую поверхность [1]. Но в локальном масштабе различная антропогенная деятельность может существенно повлиять на подъем радиоактивного вещества и на его перераспределение в пространстве.

В естественных условиях в зависимости от метеорологической обстановки концентрация радионуклидов в воздухе изменяется в пределах одного порядка в течение года. Однако при пылевых бурях и лесных пожарах может происходить увеличение концентрации радионуклидов в приземном слое воздуха в сотни раз [2, 3].

Отбор проб аэрозолей воздуха обеспечивался путем его прокачки через аэрозольный фильтр FPM 1515 или FPM 1530 размером 270×230 мм (VFNuclear, Czech [4]), с помощью цифрового высокообъемного устройства отбора проб аэрозолей VOPV-12 (VFNuclear, Czech). Скорость прокачки изменялась от 100 до 130 м³/ч. Установка VOPV-12 откалибрована производителем в 2020 г. Объем прокачанного воздуха ( $Q$ , м³), вычисляют по формуле 1[5]:

$$Q = S \times V \times t, \quad (1)$$

где:  $S$  – площадь поперечного сечения, м²;

$V$  – линейная скорость воздушного потока, м/с;

$t$  – время покачивания воздуха, с.

В 2021 году сотрудниками ЛСР научного отдела ПГРЭЗ были выполнены отбор проб и измерения объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в аэрозолях воздуха и его плотности загрязнения на подстилающей поверхности в различных

точках на территории Заповедника (с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  970-11300 кБк/м<sup>2</sup>), в разные сезоны года (весна, лето, осень) и на площадках с различным типом почвы и общим характером подстилающей поверхности в условиях отсутствия антропогенной деятельности.

Таблица 1

*Объёмная активность  $^{137}\text{Cs}$  аэрозолей воздуха, отобранных на местности.  
Плотность загрязнения территории и коэффициент вторичного ветрового подъёма*

| Номер (шифр) точки        | Среднее значение МЭД в точке отбора, мкЗв/ч | $P_z$ ( $^{137}\text{Cs}$ ), кБк/м <sup>2</sup> | $A_{06}$ аэрозоля ( $^{137}\text{Cs}$ ), Бк/м <sup>3</sup> | $K_p$ , 1/м            | Тип почвы<br>Подстилающая поверхность<br>Состояние приземного слоя атмосферы<br>Наличие/отсутствие осадков<br>Характер облачности |
|---------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br>(б.н.п. Крюки)       | 11,82                                       | 11330                                           | $(4,68 \pm 1,02) \times 10^{-3}$                           | $4,13 \times 10^{-10}$ | Суглинистая<br>Травянистая растительность<br>Штиль<br>Отсутствие осадков<br>Ясно                                                  |
| 2<br>(б.н.п. Красноселье) | 2,59                                        | 968                                             | $(3,88 \pm 1,43) \times 10^{-4}$                           | $4,01 \times 10^{-10}$ | Суглинистая<br>Травянистая растительность<br>Умеренный ветер<br>Отсутствие осадков<br>Переменная облачность                       |
| 3<br>(сайт 1 GAMFAC)      | 2,42                                        | 2532                                            | $(2,60 \pm 0,58) \times 10^{-3}$                           | $1,03 \times 10^{-9}$  | Песчаная<br>Редкая травянистая и кустарниковая растительность<br>Сильный порывистый ветер<br>Отсутствие осадков<br>Облачно        |
| 4<br>(сайт 3 GAMFAC)      | 1,89                                        | 1679                                            | $(5,20 \pm 1,20) \times 10^{-4}$                           | $3,1 \times 10^{-10}$  | Торфянистая<br>Густая травянистая растительность<br>Слабый порывистый ветер<br>Отсутствие осадков<br>Ясно                         |

В 2021 г. среднегодовая активность  $^{137}\text{Cs}$  в аэрозолях приземного слоя воздуха на территории заповедной зоны ПГРЭЗ составила 2,047 мБк/м<sup>3</sup> с диапазоном зафиксированных значений 0,388–4,68 мБк/м<sup>3</sup>.

Экологическая ситуация в пострадавших от аварии на ЧАЭС районах усугубляется тем, что значительные площади загрязненных радионуклидами земель подвержены ветровой эрозии. Процессы эрозии приводят к выносу радиоактивно загрязненной почвы на значительные расстояния и являются причиной вторичного локального загрязнения сельскохозяйственных и других угодий, водных источников, т.е. приводят к территориальному перераспределению радионуклидов.

Для изучения влияния на вторичный ветровой подъём активности радионуклидов в приземный слой атмосферы мероприятий по содержанию зоны отчуждения в 2022 году были выполнены выезды на отбор проб аэрозолей приземного слоя воздуха при минерализации противопожарных полос. Отбор проб аэрозолей осуществлялся при помощи воздухозаборного устройства VOPV-12. Устройство располагалось на расстоянии 5 метров от обрабатываемой трактором противопожарной полосы. Скорость воздушного потока создаваемого воздухозаборным устройством контролировалась с помощью анемометра. В этом месте был выполнен отбор проб почвы для определения плотности загрязнения территории радионуклидами и оценки распределения нуклидов по глубине. Также в месте отбора проб почвы были выполнены измерения спектров  $\gamma$ -излучения с помощью радиометра со спектрометрическими возможностями SPIR-Асе.

Было выполнено 6 выездов в течение сезона в соответствии с графиком обработки противопожарных полос. 29 апреля выезд в Богусhevское лесничество кв.139, 12 мая в Радинское лесничество квартал 90, 5 июля Бабчинское лесничество квартал 66, 28 июля Воротецкое лесничество квартал 41, 10 августа Радинское лесничество квартал 43, 11 августа Новопокровское лесничество квартал 12.

Измерение активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  в аэрозольных фильтрах выполнялось методом  $\gamma$ -спектрометрии с помощью спектрометра Canberra и программного обеспечения Genie-2000. Для регистрации  $\gamma$ -излучения применялся блок детектирования на основе особо чистого германия, с площадью рабочей поверхности 2000 мм<sup>2</sup> и толщиной чувствительной зоны 20 мм (BE2020). Объёмные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  приведены в таблице 2.

Таблица 2

*Объёмная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  аэрозолей воздуха, отобранных на местности во время выполнения мероприятий по минерализации противопожарных полос*

| Лесничество                             | Даты прокачки | Объём прокачанного воздуха, м <sup>3</sup> | Дата измерения | Радио-нуклид      | Объёмная активность Ао, Бк/м <sup>3</sup> | Неопределённость Ао, Бк/м <sup>3</sup> |
|-----------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| Богушевское кв.139                      | 29.04.2022    | 532                                        | 5.05.2022      | $^{137}\text{Cs}$ | 0,0068                                    | 0,0013                                 |
|                                         |               |                                            |                | $^{241}\text{Am}$ | 0,000069                                  | 0,000042                               |
| Радинское кв.90                         | 12.05.2022    | 304                                        | 13.05.2022     | $^{137}\text{Cs}$ | 0,516                                     | 0,098                                  |
|                                         |               |                                            |                | $^{241}\text{Am}$ | 0,0023                                    | 0,0005                                 |
| Бабчинское кв.66                        | 05.07.2022    | 385                                        | 6.07.2022      | $^{137}\text{Cs}$ | 0,02638                                   | 0,00505                                |
|                                         |               |                                            |                | $^{241}\text{Am}$ | 0,00024                                   | 0,00008                                |
| Воротецкое кв.41                        | 28.07.2022    | 624                                        | 28.07.2022     | $^{137}\text{Cs}$ | 0,00042                                   | 0,00016                                |
|                                         |               |                                            |                | $^{241}\text{Am}$ | менее МДА                                 | —                                      |
| Радинское кв.43                         | 10.08.2022    | 280                                        | 10.08.2022     | $^{137}\text{Cs}$ | 0,03113                                   | 0,00598                                |
|                                         |               |                                            |                | $^{241}\text{Am}$ | 0,00024                                   | 0,00010                                |
| Новопокровское кв.12 (дискование)       | 11.08.2022    | 108                                        | 11.08.2022     | $^{137}\text{Cs}$ | 0,00978                                   | 0,00228                                |
|                                         |               |                                            |                | $^{241}\text{Am}$ | менее МДА                                 | —                                      |
| Новопокровское кв.12 (после дискования) | 11.08.2022    | 261                                        | 12.08.2022     | $^{137}\text{Cs}$ | 0,00158                                   | 0,00051                                |
|                                         |               |                                            |                | $^{241}\text{Am}$ | менее МДА                                 | —                                      |

Важной особенностью полученных результатов является наличие в спектре  $\gamma$ -линии  $^{241}\text{Am}$ . Америций как  $\alpha$ -излучатель особенно опасен при попадании внутрь организма человека. Объёмные активности радионуклидов в аэрозолях приземного слоя воздуха значительно более высокие в Радинском лесничестве квартал 90. Вдыхание за год 2400 м<sup>3</sup> такого воздуха приведёт к поступлению в организм работника дополнительно 1238,9 Бк  $^{137}\text{Cs}$  и около 5,57 Бк  $^{241}\text{Am}$ .

Одной из составляющих дозы внутреннего облучения персонала и населения является дозовая нагрузка за счёт ингаляционного поступления радионуклидов. Используя значение объёмной активности нуклида  $^{137}\text{Cs}$  в аэрозоле воздуха для производственных помещений и в аэрозолях на местности при обработке противопожарных полос, а также годовой объём вдыхаемого воздуха 2400 м<sup>3</sup>, выполнена консервативная оценка годовой дозы внутреннего облучения. Так как размеры частиц аэрозолей воздуха нам неизвестны, использовались оба значения  $e(g)1\text{мкм}$ , и  $e(g)5\text{мкм}$  – ожидаемая эффективная доза на единицу ингаляционного поступления для частиц с эффективным диаметром частиц 1 мкм и 5 мкм соответственно, Зв/Бк. Полученные с использованием  $e(g)1\text{мкм}$  значения годовой дозы для персонала изменялись в пределах от 0,0000013 до 0,005944 мЗв. Используя  $e(g)5\text{мкм}$  получены значения годовой дозы в пределах от 0,0000018 до 0,008297 мЗв. В аэрозолях приземного слоя воздуха на местности при обработке противопожарных полос кроме  $^{137}\text{Cs}$  был также обнаружен  $^{241}\text{Am}$ . Полученные значения годовой дозы внутреннего облучения представлены на диаграммах (рисунок 1, 2).

Вдыхание в течение года воздуха содержащего аэрозоли, образующиеся при обработке противопожарной полосы в Радинском лесничестве, могло бы дать заметный вклад в дозу внутреннего облучения персонала, однако референтный уровень 1 мЗв[6] не был бы превышен. Но как показали исследования воздушных аэрозолей в Новопокровском лесничестве, уровень содержания аэрозолей после окончания работ по минерализации противопожарной полосы, быстро снижается. Кратковременное пребывание в зоне выполнения работ по минерализации противопожарной полосы не представляет угрозы здоровью.

Воздушные аэрозоли могут содержать изотопы, которые не определяются методом  $\gamma$ -спектрометрии, в частности  $^{90}\text{Sr}$  и дочерние продукты распада радона, такие как изотопы полония. Также в аэрозолях, в которых обнаружен радионуклид  $^{241}\text{Am}$ , могут присутствовать изотопы плутония.

Для оценки суммарной активности  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих нуклидов[7] использовалась низкофоновая установка альфа-бета-счёта LB4100 (Canberra Industries, Inc. USA), укомплектованная пропорциональными газоразрядными детекторами, работающими на проточной газовой смеси (90 % аргон / 10 % метан). Прибор характеризуется низким уровнем фона (не более 0,7 имп/мин для  $\beta$ - и 0,1 имп/мин для  $\alpha$ -частиц) и высокой эффективностью регистрации (не менее 0,45 для  $\beta$ - ( $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ) и 0,35 для  $\alpha$ -частиц ( $^{241}\text{Am}$ )). Это позволяет выполнять измерения образцов с малой активностью при длительности измерения 50 минут. В связи с небольшим объёмом измерительной камеры и необходимостью измерения тонкослойных образцов, для исключения эффекта самопоглощения, аэрозольные фильтры перед измерением озолялись при температуре 450°C. Была отработана техника сжигания фильтров до состояния золы и способ приготовления счётных мишеней из полученной золы. Из полученной золы изготавливались счётные образцы. Если масса полученной пробы золы не превышала 200 миллиграмм, то она использовалась для измерения полностью, если масса превышала 200 миллиграмм, то из пробы отбирались одна или две навески, масса которых не превышала 200 миллиграмм. Параметры образцов использованных для измерения суммарной альфа- и бета-активности приведены в таблице 2.3. Некоторые образцы подвергались

дополнительному озолению, но это существенно не повлияло на их характеристики. Низкофоновая установка альфа-бета-счёта LB4100 имеет два лотка и четыре ячейки в каждом лотке. Это позволяет измерять до восьми образцов одновременно.

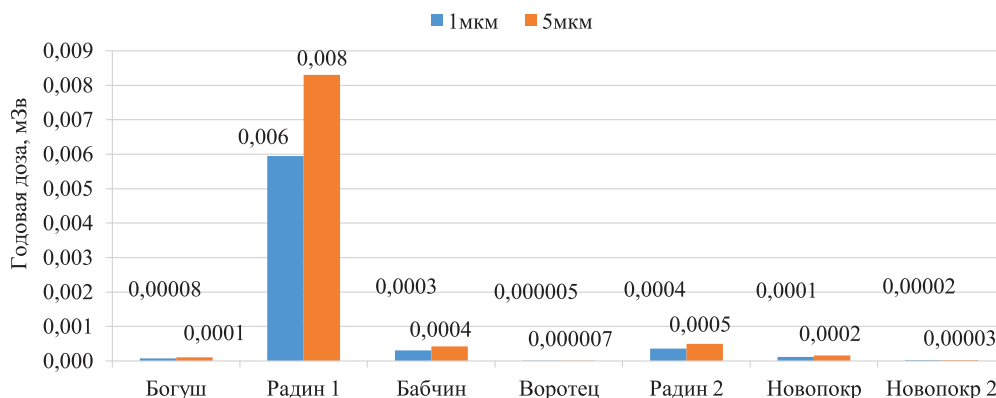


Рисунок 1 – Годовая доза внутреннего облучения при вдыхании 2400 м<sup>3</sup> воздуха содержащего аэрозоли с радионуклидом <sup>137</sup>Cs, мЗв

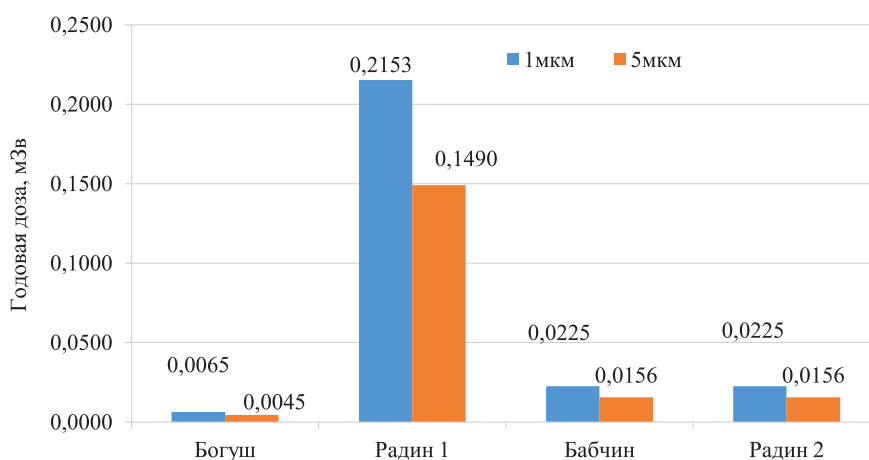


Рисунок 2 – Годовая доза внутреннего облучения при вдыхании 2400 м<sup>3</sup> воздуха содержащего аэрозоли с радионуклидом <sup>241</sup>Am, мЗв

Наибольшей суммарной α- и β-активностью отличались образцы золы фильтров, отобранные при минерализации противопожарных полос, особенно при работах на территории Радинского лесничества (отбор 12 мая). Для этих образцов будут проводиться дальнейшие исследования с использованием методов радиохимии для определения содержания <sup>90</sup>Sr и изотопов плутония.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаргер Е.К. Вторичный подъём радиоактивного аэрозоля в приземном слое атмосферы: монография/ Е.К. Гаргер; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль (Киев обл.): Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 192 с.
2. Kashparov V.A., Kadygrib A.M., Lundin S.M., Prister B.S., Protsak V.P., Levchuk S.E., Yoschenko V.I., Garger E.K., Kashpur V. A., Talerko N.N. The results of experimental research of the forest fires on the radioactive contamination of environment and the assessment of doses to fire fighters // Aerosols.-1998, v.4a, N6, p.34-36.
3. Kashparov V.A., Lundin S.M., Kadygrib A.M., Protsak V.P., Levchuk S.E., Yoschenko V.I., Kashpur V.A., Talerko N.M. Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters // Journal of Environmental Radioactivity, v.51, 2000, p. 281-298.
4. VFNUCLEAR [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://vfnnuclear.com/ru/about-vf-ru>. Дата доступа: 10.01.2022.
5. СТБ 1058-2016 Радиационный контроль. Отбор проб атмосферного воздуха. Общие требования.
6. Критерии оценки радиационного воздействия: Гигиенический норматив: утвержден постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28 декабря 2021 г.
7. Стамат И.П., Суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха как интегральный критерий оценки выбросов в атмосферу природных и техногенных радионуклидов/ Радиационная гигиена. Том 8, № 4 (2015), с. 74–82.

# БЕЛОРУССКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УЧЕТА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## BELARUSIAN SOFTWARE FOR NUCLEAR MATERIAL ACCOUNTING BASED ON FREE SOFTWARE

**С. Н. Сытова, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, С. В. Черепица**  
**S. N. Sytova, A. P. Dunets, A. N. Kovalenko, S. V. Charapitsa**

*Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, НИИ ЯП БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь, sytova@inp.bsu.by*

*Research Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University, INP BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Представлен обзор разработанной на основе свободного программного обеспечения и успешно внедренной белорусской информационной системы учета ядерных материалов. Система разработана в соответствии с требованиями (Код 10) Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и обеспечивает автоматическое формирование всех необходимых согласованных между собой учетных отчетов, а также главного журнала учета. Система гарантирует все необходимые корректные мгновенные расчеты отчетов на основе входных данных, а также необходимые корректировки в соответствии с правилами МАГАТЭ. Система обеспечивает импорт/экспорт данных в/из системы по всем вариантам Кода 10 (маркированный и фиксированный формат).

An overview of the Belarusian information system for nuclear material accounting, developed on the basis of free software and successfully implemented, is presented. The system was developed in accordance with the requirements (Code 10 reporting format) of the International Atomic Energy Agency (IAEA) and provides automatic generation of all necessary accounting reports, coordinated among themselves, as well as the General Ledger. The system guarantees all necessary correct instantaneous calculations of reports based on the input data, as well as necessary adjustments in accordance with the IAEA rules. The system provides data import/export to/from the system according to all variants of Code 10 (labelled and fixed formats).

*Ключевые слова:* ядерные материалы, МАГАТЭ, Код 10, информационные технологии, фреймворк, свободное программное обеспечение.

*Keywords:* nuclear materials, IAEA, Code 10, information technology, framework, free software.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-167-171>

**Введение.** Свободное программное обеспечение (СПО) – это программное обеспечение (ПО), пользователи которого имеют права (или по-другому свободы) беспрепятственно изучать, устанавливать, запускать, распространять, изменять и улучшать его. Эти свободы декларируются через свободные лицензии, с которыми следует внимательно ознакомиться перед использованием ПО. Любые такие продукты поставляются в открытых исходных кодах, чтобы пользователь мог их свободно изучить и модифицировать. Свободное ПО не означает обязательной его бесплатности. Разработчики могут получать финансирование на адаптацию, сопровождение и др. работы. Подавляющее большинство открытых программ является свободными и наоборот, ибо определения открытого и свободного ПО близки, а большинство лицензий соответствуют обоим.

Проприетарное программное обеспечение (лицензионное, несвободное ПО) является собственностью его авторов или правообладателей и не соответствует критериям свободного программного обеспечения.

Такие крупные международные организации, как Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), предлагают пользоваться исключительно проприетарным ПО. Приведем в качестве примера Информационную Систему Регулирующего Органа RAIS 3.4. Это информационная система, охватывающая все основные области нормативно-правовой базы, включая информацию о национальной регулирующей инфраструктуре, учреждениях и ведомствах, источниках ионизирующего излучения и связанном с ними оборудовании, разрешениях, инспекциях, правоприменении, работниках, радиационных событиях и технических службах. Область действия RAIS может быть расширена за счет использования встроенных инструментов настройки для охвата других областей, представляющих интерес для регулирующего органа. Согласно сайту, система работает в более чем 80 странах мира <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/regulatory-infrastructure/rais.asp?s=3>.

Санкционные ограничения и полная либо частичная приостановка деятельности на российском рынке многих иностранных софтверных компаний, начавшиеся в 2022 году, ярко продемонстрировали необходимость отказа от использования проприетарного ПО для снятия зависимости от таких крупных компаний, как Microsoft, Adobe Systems, Oracle и др. Тем более хорошо известно, что проприетарное ПО не является «доверенным», то есть может содержать скрытые (незадекларированные) «возможности».



Использование СПО очевидно облегчает процессы проверки его безопасности и сертификацию, поскольку все исходные коды и полная техническая документация находятся в свободном доступе. Преимущества использования СПО заключается в отсутствии необходимости приобретать лицензии, сокращении затрат на развитие и поддержку решений на основе СПО, отсутствии зависимости от производителя ПО и постоянное развитие за счет взаимодействия с широким мировым сообществом разработчиков.

Рынок услуг СПО по прогнозам (<https://devm.io/open-source/open-source-software-trends>) будет расти в среднем на 21,75% в течение 2020–2026 годов, а его стоимость, как ожидается, достигнет 66,8 млрд долларов США. Отметим повышенный спрос на разработчиков с опытом работы на СПО, продемонстрированный исследованием Linux Foundation и edX в июне 2022 года (<https://www.linuxfoundation.org/research/the-10th-annual-open-source-jobs-report>), когда 93% работодателей из всех сил пытались найти достаточно квалифицированных специалистов в этой области.

На импортозамещение ПО и широкий переход на СПО в России обратили внимание еще в начале 2000-х годов. В 2010 г. было принято Распоряжение Правительства Российской Федерации №2299-р об утверждении плана перехода федеральных органов исполнительной власти и федеральных бюджетных учреждений на использование свободного ПО. В 2022 г. был принят Указ о мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности национальной критической информационной инфраструктуры. Согласно этому документу, с 1 января 2025 года вводится полный запрет на использование зарубежного ПО на значимых объектах критической инфраструктуры. Как пишут российские СМИ, через неделю после введения западных санкций и приостановки деятельности зарубежных производителей ПО на российском рынке спрос на решения от отечественных ИТ-компаний вырос на 300% по сравнению с тем же периодом 2021 года. Особенно востребованы офисные пакеты, операционные системы (ОС) и системы управления базами данных (СУБД), поскольку даже если некоторые лицензии на коммерческое ПО еще действуют, то после их окончания работа на старом ПО станет затруднительной.

В настоящее время все больше стран мира стремятся шире использовать свободное программное обеспечение. В Республике Беларусь уделяется большое внимание безопасности информационных систем, в частности, приняты Указы Президента Республики Беларусь, постановления Совета министров Республики Беларусь, Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь в области информатизации. Использование СПО является одним из реальных способов повысить степень защиты информации и реализовать необходимые меры по совершенствованию защиты информации. Еще в 2011 г. в соответствии с Приказом Министра обороны Республики Беларусь №112 от 18.02.2011 г. «Об утверждении перечня форматов представления и протоколов передачи данных, используемых в информационных системах Вооруженных Сил и транспортных войск» ПО с поддержкой операционной системы Linux было признано приоритетным при использовании в Вооруженных силах Республики Беларусь.

Поэтому вызывает удивление размещенные на электронной торговой площадке госзакупок <http://goszakupki.by/> в январе 2023 г. следующие актуальные заявки по разработке и внедрение информационных систем на основе проприетарного ПО: процедура закупки № 2023-1035907 «Разработка и внедрение автоматизированной информационной системы концерна Белгоспищепром» (стоимость – 1 640 000 BYN), процедура закупки № 2023-1035295 «Закупка услуги по доработке и внедрению комплексной информационной ERP-системы управления складом и запасами холдинга «Белорусская цементная компания» на базе программного обеспечения 1С» (3 000 000 BYN). Известно, что система учета ядерных материалов Белорусской АЭС также разработана на основе проприетарного ПО <http://atomickeeper.ru/>.

Сегодня государственным организациям необходимо принять решение: потратить миллионы рублей на лицензии или поменять их на СПО. Такой переход имеет стратегическое преимущество: это прямое финансирование отечественных разработчиков.

Какие основные цели в настоящее время стоят перед этими разработчиками? Это создание комплексных информационных систем на базе СПО, миграция на СПО, модернизация и развитие существующих программных решений на основе СПО, техническая поддержка и сопровождение решений на его основе.

**Белорусский фреймворк eLab на основе СПО.** Первая версия белорусской разработки на основе СПО – фреймворк eLab [1] была создана в 2006–2008 гг. и с 2010 г. стала активно использоваться для различных приложений.

Система внедрена в учебный процесс ведущих белорусских вузов (БГУ, БГТУ, БНТУ), химико-токсикологической лаборатории Минского городского наркологического диспансера, в 2012 г. поставлена и до сих пор работает на боевом дежурстве в 202 Химмотологическом центре горючего для контроля качества и учета ГСМ Вооруженных Сил Республики Беларусь.

В рамках Государственной научно-технической программы «Интеллектуальные информационные технологии» на основе фреймворка eLab создана Интеллектуальная информационная система сотрудника Госатомнадзора для обеспечения контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности. Система включает в себя Модуль по контролю (надзору) за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС на всех этапах ее жизненного цикла, включая контроль (надзор) за оборудованием, системами и элементами энергоблоков №1, 2 Белорусской АЭС; Модуль по контролю (надзору) за радиационной безопасностью источников ионизирующего излучения и Модуль по учету и контролю ядерных материалов. В результате выполнения проекта проведено программное оснащение свыше пятидесяти рабочих мест в Госатомнадзоре, его территориальных подразделениях, в том числе в областных центрах, на Белорусской АЭС. Постоянно проводится

дальнейшее развитие информационной системы. В настоящее время в Республике Беларусь с ее использованием на уровне регулирующего органа, которым является Госатомнадзор, ведется весь учет источников ионизирующего излучения, учет ядерных материалов (ЯМ) с отчетностью перед МАГАТЭ, надзор за строительством и функционированием Белорусской АЭС.

В 2014 – 2018 гг. на основе фреймворка eLab создан электронный портал ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь BelNET (Belarusian Nuclear Education and Training Portal) <https://belnet.bsu.by/>. В настоящее время портал BelNET – единственный крупный научно-технический информационный ресурс в области ядерных знаний в Республике Беларусь. Также созданы научный портал CoExAN проекта в области нанотехнологий программы Горизонт 2020 <https://coexan.bsu.by/> и электронный портал eLab <https://elab.bsu.by/>.

Каковы особенности фреймворка eLab? Это система клиент-серверной архитектуры, работающая под управлением ОС Windows и Linux, класса лабораторная информационная система с элементами электронного документооборота на основе СПО: Debian GNU/Linux, Web-server Apache, сервер баз данных Firebird, сервер приложений PHP. Постоянно проводится обновление версий СПО до самых свежих, что существенно улучшает работу системы. Ядро системы представляет собой текстовые файлы, написанные на PHP, которые могут быть легко изучены и модифицированы. Система по виду автоматизируемой деятельности относится к системам управления, сбора, хранения, обработки и передачи информации.

Работа идет через Web-интерфейс в многопользовательском режиме с разделением прав доступа посредством стандартных браузеров. Фреймворк eLab соответствует лучшим мировым аналогам. ПО является открытым для модификаций и доработок непосредственными пользователями, легко настраивается на специфику проекта, работает на защищенном сервере, на стороне клиента ничего не устанавливается, достаточно наличия стандартного браузера. Система может работать в локальной сети интранет, в глобальной сети интернет, а также на обособленном компьютере. Ее структура позволяет в рамках одного установленного экземпляра продукта поддерживать одновременно функционирование продуктов разного профиля.

**Модуль учета ядерных материалов.** Кратко рассмотрим Модуль учета ядерных материалов. Его цель:

- учет ядерных материалов, изделий, их содержащих, веществ и отходов, включая их местонахождение, состояние, права собственности для эксплуатирующих организаций и организаций с ЯМ малых количеств в строгом соответствии с заключенными международными соглашениями и обязательствами, на основе нормативных правовых актов Республики Беларусь;
- возможность определения в любой момент времени наличного количества ЯМ в местах их нахождения, а также предотвращение потерь, несанкционированного использования и хищений, злонамеренных действий в отношении ЯМ;
- информационное обеспечение анализа безопасности при использовании атомной энергии и поддержания необходимого уровня охраны окружающей среды;
- обеспечение предоставления в установленном порядке республиканских отчетов в МАГАТЭ.

Модуль позволяет проводить сбор и анализ информации о наличных количествах, изменениях и перемещении инвентарных количеств ЯМ как в разрезе отдельной зоны баланса материалов (ЗБМ), так и в целом по стране. Основными документами, генерируемыми в Модуле в соответствии с требованиями МАГАТЭ [2, 3], являются отчет о фактически наличном количестве материала (Physical Inventory Listing – PIL), отчет об изменениях инвентарного количества материала (Inventory Change Report – ICR), материально-балансовый отчет (Material Balance Report – MBR), текстовый отчет (Textual Report – TR), пояснительная записка к учетным отчетам (Concise Notes – CN), главный журнал учета (General Ledger). Функциональность формирования отчетов легко позволяет расширить номенклатуру отчетных материалов, генерируемых в Модуле, в том числе для XML формата Кода 10.

Рассмотрим алгоритм работы в Модуле на примере ЗБМ «Организации с малым количеством ЯМ». Здесь процедура формирования ICR, PIL, MBR, General Ledger, текстовых отчетов определяется сложившейся практикой Госатомнадзора, который ведет учет ЯМ в этой ЗБМ на основе информации о партиях ЯМ, поступающей от организаций. Названия партий зависят от номера региона Республики Беларусь, в котором находится организация-владелец оборудования и источников, содержащих ЯМ. Приведем структуру журналов Модуля для ЗБМ «Организации с малым количеством ЯМ»:

1. Партии ЯМ.
2. Изменение инвентарного количества ЯМ.
  - 2.1. Архив изменений инвентарного количества ЯМ.
3. Общая информация об учетных отчетах.
  - 3.1. Отчет об изменениях инвентарного количества материала.
  - 3.2. Отчет о фактически наличном количестве материала.
  - 3.3. Текстовый отчет.
  - 3.4. Материально-балансовый отчет.
  - 3.5. Пояснительная записка к учетным отчетам.
4. Главный журнал учета (General Ledger) – Результаты расчета.
5. Расчет данных для отчета о фактически наличном количестве материала.
6. Расчет данных для материально-балансового отчета.
7. Оперативный журнал. ЯМ в организации.

Также система содержит в соответствии с Кодом 10 все необходимые справочники по ЯМ. Для ускорения ввода данных в редакторе заданы предустановленные значения, которые с вероятностью больше 50% будут правильными для конкретной записи для ЗБМ ВУ-Z. Кнопка «Дублировать» ускоряет ввод однотипных данных. Данные в журналы могут быть либо импортированы извне, либо заданы с помощью редактора записи, либо сформированы автоматически на основе «необработанных» данных журнала «Изменение инвентарного количества ЯМ». После формирования отчетов ICR все данные автоматически попадают в архив – журнал «Данные отчетов об изменении инвентарного количества ЯМ». В дальнейшем эти данные изменению не подлежат – только корректурке в соответствии с процедурами МАГАТЭ.

| Измерения | Данные | Проверка | Изменения | Итого      | Единица измерения |
|-----------|--------|----------|-----------|------------|-------------------|
| 123       | 2      | FE       | 0         | 28884, 588 | kg                |
| 123       | 2      | FE       | 0         | 3841, 538  | kg                |
| 123       | 3      | FE       | 0         | 4454, 829  | kg                |
| 123       | 4      | SA       | 0         | 279, 330   | kg                |
| 123       | 5      | SE       | 0         | 5113, 296  | kg                |
| 123       | 6      | SE       | 0         | 4015, 006  | kg                |
| 123       | 7      | LA       | 0         | 70, 000    | kg                |
| 123       | 8      | SA       | 0         | 56319, 979 | kg                |
| 123       | 9      | FE       | 0         | 56228, 978 | kg                |
| 123       | 10     | FE       | 0         | 6, 686     | kg                |

Рисунок 1 – Копия экрана – пример материально-балансового отчета. Курсор указывает на создание отчета в формате маркированного Кода 10 (см. результат на Рис. 2)

Работы осуществляются по следующему алгоритму после поступления данных от организации. Сначала проводится информации о партии ЯМ. При необходимости в соответствующем журнале создается новая запись о партии или в существующую запись заносится новая информация. В систему заносятся все операции с партиями ЯМ, при необходимости вносится операция с корректировкой данных для предыдущего периода. Затем формируется отчет ICR в формате Кода 10 с его проверкой в ПО МАГАТЭ QCVS, после чего производится отправка отчетов ICR в МАГАТЭ с пометкой этих отчетов для запрета внесения в них изменений. Также в случае замечаний из МАГАТЭ вносятся поправки в операции ICR и его отправка с исправлениями. Следующий этап – формирование данных для PIL на основании предыдущего PIL и ICR за текущий период, затем – формирование MBR (см. Рис. 1) на основании текущего и предыдущего PIL и ICR за текущий период. После этого – проверка отчетов MBR и PIL в QCVS, их отправка в МАГАТЭ с пометкой для запрета внесения изменений, внесение правок, если из МАГАТЭ пришли замечания.

Далее в случае необходимости происходит расчет Главного журнала учета General Ledger. Это журнал автоматически рассчитывается для каждого элемента на основании данных отчетов ICR, PIL, MBR. Он формируется после задания соответствующей записи про данный журнал с указанием его номера и дат начала и конца в журнале «Общая информация об учетных отчетах». Дата начала должна совпадать с датой того PIL, начиная с которого будет рассчитываться Главный журнал учета. Он может содержать несколько PIL – столько, сколько попадает в заданный временной промежуток. Таким образом может быть сформирована история учета за несколько лет, а также информация с MUF. Пересчет в системе происходит автоматически сразу после изменения записи в «Общей информации об отчетах». Сверху над журналом находится селектор (раскрывающийся список), позволяющий отфильтровать данные для конкретного элемента.

Аккуратная реализация импорта/экспорта данных в маркированном формате Кода 10 позволила выявить ошибку в QCVS – программном обеспечении МАГАТЭ, выполняющем функции контроля отправляемых в МАГАТЭ отчетов. С этим согласились сотрудники МАГАТЭ, работающие с данной программой. Вызывает удивление, почему белорусские разработчики были первыми нашедшими эту ошибку, хотя достаточно было проверить, как обрабатываются в QCVS все возможные метки маркированного Кода 10.

В Модуле также реализован процесс учета ЯМ в общем виде на основе рекомендаций МАГАТЭ. То есть система позволяет формировать данные для сколь угодно разных ЗБМ, не привязываясь к специфике Республики Беларусь. И позволяет также сформировать суммарные отчеты в разрезе всех ЗБМ, что оказывается важным для инспекторов МАГАТЭ при проведении инспекций в стране.

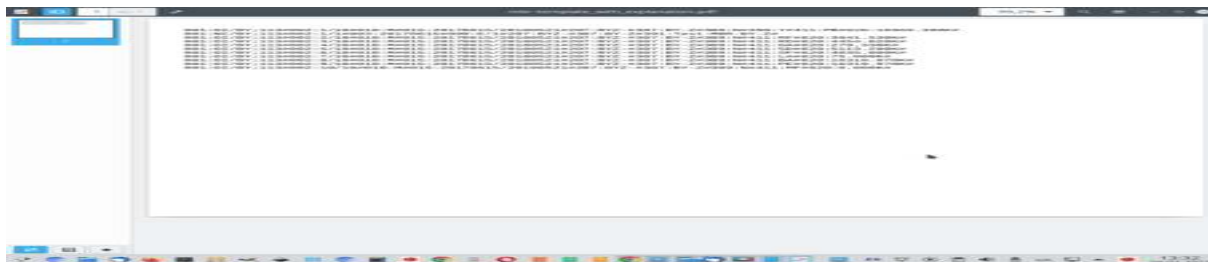


Рисунок 2 – Материально-балансовый отчет с Рис. 1, экспортированный в маркированный Код 10

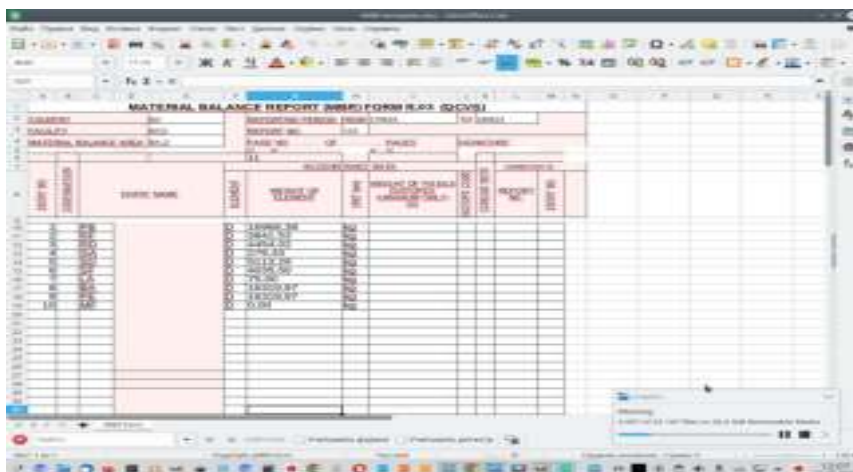


Рисунок 3 – Материально-балансовый отчет Рис.1, экспортированный в фиксированный Код 10

**Заключение.** Другие подробности описания белорусского Модуля учета ядерных материалов могут быть найдены в [4, 5]. Этот Модуль, разработанный для целей белорусского ядерного регулятора, может быть легко настроен для ведения учета ядерных материалов для отдельной ЗБМ, переведен на другие языки и предложен для широкого внедрения. Он позволяет перекодировать любые типы отчетов в любые форматы Кода 10. Программа всесторонне валидирована на реальных белорусских отчетах, отправленных в МАГАТЭ.

В настоящее время система настраивается для учета ЯМ в отдельных организациях. Работы выполняются в рамках задания 1.8.2 Государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» на 2021–2025 годы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сытова, С. Н. Информационная система eLab в науке, практике, образовании / С. Н. Сытова. – Мн.: Изд. Центр БГУ, 2021. – 202 с.
2. International Atomic Energy Agency SG-FM-1172. Contents, format and structure of reports to the Agency. – Vienna: IAEA, 2017. – 18 p.
3. Cain, R. Nuclear Safeguards Reporting System Requirements Specification / R. Cain [et al.]. – ORNL/TM-2017/701. – USA, 2018. – 143 p.
4. Сытова, С. Н. Информационная система учета и контроля ядерного материала / С. Н. Сытова [и др.] // Доклады БГУИР. – 2021. – Т. 19, № 4. – С. 94–102.
5. Sytova, S. Belarusian software for nuclear material accounting at the level of regulatory body / S. Sytova [et al.]. // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2021. – Vol. 22, №4. – С. 400–408.



**РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА  
В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ,  
МИНСКОЙ И ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ В 2021–2022 ГОДАХ**

**RESULTS OF THE VOLUMETRIC ACTIVITY OF RADON IN INDOOR AIR  
MEASUREMENTS OF GOMEL, MINSK AND HRODNA REGIONS IN 2022**

**И. В. Жук, Л. Л. Василевский, Ж. А. Лукашевич,  
Т. В. Лисянович, Д. В. Лукьянова, Н. А. Маковская, К. В. Гусак**

**I. Zhuk, L. Vasileuski, J. Lukashevich, T. Lisyanovich,  
D. Lukyanava, N. Makovskaya, K. Gusak**

*Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,  
Минский р-н, Республика Беларусь  
lab13@sosny.bas-net.by*

*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk region, Republic of Belarus*

В Республике Беларусь не менее 40 % территории является потенциально радоноопасной. Это обуславливает необходимость проведения систематических радонометрических исследований. Такие исследования по мониторингу радона в воздухе помещений в Республике Беларусь проводятся научным учреждением «ОИЭЯИ-Сосны». В данной работе представлены результаты мониторинга радона в воздухе помещений в населенных пунктах Гомельской, Минской и Гродненской областей в 2021 – 2022 году.

At least 40 % of territory of the Republic of Belarus is potentially at radon risk. It is cause of the systematic radon monitoring. Such systematic radon monitoring in the air of premises in the Republic of Belarus has been carried out by the scientific institution «JIPNR-Sosny». The results of radon monitoring in the air of premises in the Gomel region, the Minsk region and the Hrodna region in 2021 - 2022 are presented.

*Ключевые слова:* радон, эквивалентная равновесная объемная активность, Гомельская область, Минская область, Гродненская область, твердотельные трековые детекторы.

*Keywords:* radon, equivalent equilibrium volumetric activity, the Gomel region, the Minsk region, the Hrodna region, solid state track detectors.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-172-176>

За счет радона и продуктов его распада создается около половины общей дозы облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Большую часть дозы от изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов человек получает в помещениях жилых, общественных и производственных зданий и сооружений.

В Республике Беларусь СанПиН «Требования к радиационной безопасности» [1] устанавливает норматив 200 Бк/м<sup>3</sup> среднегодовой эквивалентной равновесной объемной радона в воздухе эксплуатируемых жилых помещений.

В Республике Беларусь с 2002 года в Государственном научном учреждении «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси проводятся работы по радоновой проблематике [2].

Для проведения измерений концентраций радона в воздухе помещений в 2021 году выбрано 54 здания в 21 населенном пункте, расположенных в 4 административных районах Гомельской области: Октябрьском, Жлобинском, Чечерском и Кормянском. Все обследованные помещения находятся в жилых зданиях.

В 2022 году выбрано: 41 здание в 17 населенных пунктах, расположенных в 4 административных районах (Мозырском, Наровлянском, Хойникском и Калинковичском) Гомельской области. Из них 33 здания относятся к жилым и 8 – к административным.

В Гродненской области в 2022 году было обследовано 32 здания в 1 административном районе (Островецком). Из них 30 относится к жилым и 2 – к административным зданиям.

В 2022 году завершилась экспозиция радонометров в зданиях на территории Минской области, выбранных для мониторинга радона в 2021 г. Общее количество обследованных зданий в 2021 году в Минской области, составляет 37. Из них 32 относятся к жилым и 5 – к административным зданиям.

В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите измерения объемной активности радона в воздухе помещений Республики Беларусь проводятся интегральным методом пассивной



трековой радиометрии с использованием твердотельных трековых ядерных детекторов альфа-частиц согласно методике [3]. В качестве детекторов использовалась нитроцеллюлозная пленка LR-115, тип 2, производства фирмы DOSIRAD (Франция), позволяющая применить относительно простой искровой способ счета треков на детекторах. При проведении мониторинга радона в воздухе зданий в Беларуси использовались интегральные трековые радиометры радона, подробная схема и описание которых представлены в работах [4]. Время экспозиции составляет 2–3 месяца. Большинство измерений в холодный сезон и на первых этажах зданий.

Измеряемой величиной при мониторинге радона в воздухе помещений является усредненная за время экспозиции радонометров объемная активность радона  $(\overline{OA_{Rn}})_i$ . Нормируемый в Беларуси параметр, среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$ , в эксплуатируемых жилых зданиях не должна превышать 200 Бк/м<sup>3</sup>, а в производственных и общественных зданиях – 310 Бк/м<sup>3</sup> [1]. Используя измеренные значения  $(\overline{OA_{Rn}})_i$  согласно методическим указаниям МУК РБ №11-8-6-2002 [5], действующим в Республике Беларусь, определяем среднегодовые значения  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$ .

В таблицах 1 и 2 приведены данные по средним значениям  $\overline{OA_{Rn}}$  и  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$ , а также распределение уровней

$\overline{OA_{Rn}}$  и  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$  в воздухе помещений Гомельской области, по данным за 2021 г.

Таблица 1

*Распределение значений  $\overline{OA_{Rn}}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Гомельской области в 2021 году*

| № п/п | Административный район        | Кол-во обследованных населенных пунктов, шт. | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $\overline{OA_{Rn}}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $\overline{OA_{Rn}}$ , % |                        |
|-------|-------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------------------|------------------------|
|       |                               |                                              |                                            | Среднее                                           | Минимальное | Максимальное | >100 Бк/м <sup>3</sup>                          | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 1     | Октябрьский                   | 6                                            | 19                                         | 59                                                | 30          | 105          | 5,3                                             | 0                      |
| 2     | Жлобинский                    | 5                                            | 11                                         | 85                                                | 30          | 220          | 18,2                                            | 9,1                    |
| 3     | Чечерский                     | 2                                            | 8                                          | 73                                                | 30          | 170          | 25,0                                            | 0                      |
| 4     | Кормянский                    | 8                                            | 16                                         | 51                                                | 30          | 125          | 6,3                                             | 0                      |
| 5     | В целом по Гомельской области | 21                                           | 54                                         | 64                                                | 30          | 220          | 11,1                                            | 1,9                    |

Таблица 2

*Распределение значений  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Гомельской области в 2021 году*

| № п/п | Административный район        | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $\overline{ЭРОА_{Rn}}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $\overline{ЭРОА_{Rn}}$ , % |                        |                        |
|-------|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
|       |                               |                                            | Среднее                                             | Минимальное | Максимальное | >50 Бк/м <sup>3</sup>                             | >100 Бк/м <sup>3</sup> | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 1     | Октябрьский                   | 19                                         | 60                                                  | 32          | 103          | 63,2                                              | 5,3                    | 0                      |
| 2     | Жлобинский                    | 11                                         | 84                                                  | 32          | 214          | 63,6                                              | 18,2                   | 9,1                    |
| 3     | Чечерский                     | 8                                          | 73                                                  | 32          | 168          | 50,0                                              | 25,0                   | 0                      |
| 4     | Кормянский                    | 16                                         | 53                                                  | 32          | 125          | 43,8                                              | 6,3                    | 0                      |
| 5     | В целом по Гомельской области | 54                                         | 65                                                  | 32          | 214          | 55,6                                              | 11,1                   | 1,9                    |

Как видно из таблицы 1, уровни объемной активности радона  $\overline{OA_{Rn}}$  свыше 100 Бк/м<sup>3</sup> обнаружены в 6 помещениях Гомельской области (или в ~11,1 % от обследованных), а более 200 Бк/м<sup>3</sup> – в воздухе 1 помещения (или в ~1,9 % случаев). Средние значения  $\overline{OA_{Rn}}$  в различных административных районах области варьируют от ~51 до 85 Бк/м<sup>3</sup>. Средние значения эквивалентной равновесной объемной активности радона  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$  в различных административных районах изменяются от ~53 до 84 Бк/м<sup>3</sup>. Значения  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$  более 100 Бк/м<sup>3</sup> определены в 6 помещениях (или в ~11,1 % от обследованных), свыше 200 Бк/м<sup>3</sup> зарегистрировано в 1 помещении (или в ~1,9 % от обследованных).

В таблицах 3 и 4 приведены данные по средним значениям  $\overline{OA_{Rn}}$  и  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$ , а также распределение уровней

$\overline{OA_{Rn}}$  и  $\overline{ЭРОА_{Rn}}$  в воздухе помещений Гомельской области, по данным за 2022 г.

Таблица 3

Распределение значений  $OA_{Rn}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Гомельской области в 2022 году

| № п/п | Административный район        | Кол-во обследованных населенных пунктов, шт. | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $OA_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $OA_{Rn}$ , % |                        |
|-------|-------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|--------------|--------------------------------------|------------------------|
|       |                               |                                              |                                            | Среднее                                | Минимальное | Максимальное | >100 Бк/м <sup>3</sup>               | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 1     | Мозырский                     | 8                                            | 11                                         | 101                                    | 30          | 217          | 36,4                                 | 18,2                   |
| 2     | Наровлянский                  | 2                                            | 9                                          | 98                                     | 35          | 150          | 55,6                                 | 0                      |
| 3     | Хойникский                    | 3                                            | 8                                          | 179                                    | 30          | 400          | 75,0                                 | 37,5                   |
| 4     | Калинковичский                | 4                                            | 12                                         | 131                                    | 75          | 270          | 83,3                                 | 33,3                   |
| 5     | В целом по Гомельской области | 17                                           | 40                                         | 125                                    | 30          | 400          | 62,5                                 | 22,5                   |

Таблица 4

Распределение значений  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Гомельской области в 2022 году

| № п/п | Административный район        | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , % |                        |                        |
|-------|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
|       |                               |                                            | Среднее                                             | Минимальное | Максимальное | >50 Бк/м <sup>3</sup>                             | >100 Бк/м <sup>3</sup> | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 1     | Мозырский                     | 11                                         | 52                                                  | 18          | 108          | 36,4                                              | 18,2                   | 0                      |
| 2     | Наровлянский                  | 9                                          | 51                                                  | 20          | 76           | 55,6                                              | 0                      | 0                      |
| 3     | Хойникский                    | 8                                          | 90                                                  | 18          | 198          | 75,0                                              | 37,5                   | 0                      |
| 4     | Калинковичский                | 12                                         | 66                                                  | 40          | 135          | 83,3                                              | 33,3                   | 0                      |
| 5     | В целом по Гомельской области | 40                                         | 64                                                  | 18          | 198          | 62,5                                              | 22,5                   | 0                      |

Как видно из таблицы 3, уровни объемной активности радона  $OA_{Rn}$  свыше 100 Бк/м<sup>3</sup> обнаружены в 25 помещениях Гомельской области (или в ~62,5 % от обследованных), а более 200 Бк/м<sup>3</sup> – в воздухе 9 помещений (или в ~22,5 % случаев). Средние значения  $OA_{Rn}$  в различных административных районах Гомельской области варьируются от ~98 до 179 Бк/м<sup>3</sup>.

Согласно данным таблицы 4, средние значения эквивалентной равновесной объемной активности радона  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в различных административных районах варьируются от ~51 до 90 Бк/м<sup>3</sup>. Значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  более 100 Бк/м<sup>3</sup> определены в 9 помещениях (или в ~22,5 % от обследованных). Превышений нормируемого значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  (200 Бк/м<sup>3</sup>) в обследованных населенных пунктах Гомельской области не выявлено.

Данные по средним значениям  $OA_{Rn}$  и  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , а также распределение уровней  $OA_{Rn}$  и  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в воздухе помещений Минской области приведены в таблицах 5 и 6.

По данным таблицы 5 видно, что уровни объемной активности радона  $OA_{Rn}$  свыше 100 Бк/м<sup>3</sup> обнаружены в 7 помещениях Минской области (или в ~20,0 % от обследованных), а более 200 Бк/м<sup>3</sup> – в воздухе 4 помещений (или в ~11,4 % случаев). Средние значения  $OA_{Rn}$  в различных административных районах Минской области варьируются от ~71 до 105 Бк/м<sup>3</sup>.

Согласно данным таблицы 6, средние значения эквивалентной равновесной объемной активности радона  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в различных административных районах изменяются от ~38 до 54 Бк/м<sup>3</sup>. Значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  более 100 Бк/м<sup>3</sup> определены в 4 помещениях (или в ~11,4 % от обследованных). Значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  свыше 200 Бк/м<sup>3</sup> (нормируемого значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ ) в обследованных населенных пунктах Минской области не зарегистрировано.

Таблица 5

Распределение значений  $OA_{Rn}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Минской области в 2022 году

| № п/п | Административный район        | Кол-во обследованных населенных пунктов, шт. | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $OA_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $OA_{Rn}$ , % |                        |
|-------|-------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|--------------|--------------------------------------|------------------------|
|       |                               |                                              |                                            | Среднее                                | Минимальное | Максимальное | >100 Бк/м <sup>3</sup>               | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 1     | Узденский                     | 5                                            | 9                                          | 71                                     | 30          | 215          | 11,1                                 | 11,1                   |
| 2     | Любанский                     | 6                                            | 12                                         | 90                                     | 40          | 235          | 16,7                                 | 8,3                    |
| 3     | Стародорожский                | 2                                            | 5                                          | 105                                    | 60          | 260          | 20,0                                 | 20,0                   |
| 4     | Пуховичский                   | 4                                            | 9                                          | 87                                     | 30          | 235          | 33,3                                 | 11,1                   |
| 5     | В целом по Гомельской области | 17                                           | 35                                         | 86                                     | 30          | 260          | 20,0                                 | 11,4                   |

Таблица 6

Распределение значений  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Минской области в 2022 году

| № п/п | Административный район        | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , % |                        |                        |
|-------|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
|       |                               |                                            | Среднее                                             | Минимальное | Максимальное | >50 Бк/м <sup>3</sup>                             | >100 Бк/м <sup>3</sup> | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 1     | Узденский                     | 9                                          | 38                                                  | 18          | 105          | 11,1                                              | 11,1                   | 0                      |
| 2     | Любанский                     | 12                                         | 47                                                  | 23          | 118          | 16,7                                              | 8,3                    | 0                      |
| 3     | Стародорожский                | 5                                          | 54                                                  | 32          | 130          | 20,0                                              | 20,0                   | 0                      |
| 4     | Пуховичский                   | 9                                          | 46                                                  | 18          | 118          | 33,3                                              | 11,1                   | 0                      |
| 5     | В целом по Гомельской области | 35                                         | 45                                                  | 18          | 130          | 20,0                                              | 11,4                   | 0                      |

В таблицах 7 и 8 приведены данные по средним значениям  $OA_{Rn}$  и  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , а также распределение уровней  $OA_{Rn}$  и  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в воздухе помещений Гродненской области.

Таблица 7

Распределение значений  $OA_{Rn}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Гродненской области в 2022 году

| Кол-во обследованных населенных пунктов, шт. | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $OA_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $OA_{Rn}$ , % |                        |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|--------------|--------------------------------------|------------------------|
|                                              |                                            | Среднее                                | Минимальное | Максимальное | >100 Бк/м <sup>3</sup>               | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 12                                           | 32                                         | 62                                     | 30          | 238          | 12,5                                 | 3,1                    |

Как видно из таблицы 7, уровни объемной активности радона  $OA_{Rn}$  свыше 100 Бк/м<sup>3</sup> обнаружены в 4 помещениях Островецкого района Гродненской области (или в ~12,5 % от обследованных), а более 200 Бк/м<sup>3</sup> – в воздухе 1 помещения (или в ~3,1 % случаев). Среднее значение  $OA_{Rn}$  по Островецкому району Гродненской области составляет ~62 Бк/м<sup>3</sup>.

Таблица 8

Распределение значений  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в воздухе помещений в населенных пунктах Гродненской области в 2022 году

| Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup> |             |              | Распределение значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ , % |                        |                        |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
|                                            | Среднее                                             | Минимальное | Максимальное | >50 Бк/м <sup>3</sup>                             | >100 Бк/м <sup>3</sup> | >200 Бк/м <sup>3</sup> |
| 32                                         | 45                                                  | 25          | 180          | 28,1                                              | 6,3                    | 0                      |

Из таблицы 8 видно, что среднее значение эквивалентной равновесной объемной активности радона  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  по Островецкому району составляет ~45 Бк/м<sup>3</sup>. Значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  более 100 Бк/м<sup>3</sup> определены в 2 помещениях (или в ~6,3 % от обследованных). Превышений нормируемого значения  $\overline{ЭРОА}_{Rn}$  в обследованных населенных пунктах Гродненской области не выявлено.

В результате обработки результатов определения объемной активности радона в воздухе задний, расположенных на территории Гомельской области, в 2021 году установлено, что средние значения эквивалентной равновесной объемной активности радона  $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$  в различных административных районах изменяются от 53 до 84 Бк/м<sup>3</sup>. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения  $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$  более 200 Бк/м<sup>3</sup> наблюдается в 1 помещении или в 1,9 % случаев из обследованных зданий.

Превышений нормируемого значения  $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$  (200 Бк/м<sup>3</sup>) в воздухе зданий в обследованных населенных пунктах Гомельской, Минской и Гродненской областей в 2022 году не выявлено.

Карты концентраций радона в воздухе помещений являются основным инструментом для оценки ситуации существующего облучения населения, обусловленного присутствием радона в закрытых помещениях и, в надлежащих случаях, для разработки и осуществления плана действий по контролю, так как позволяют обозначить наиболее радоноприоритетные регионы.

Проведение мониторинга радона в дальнейшем на территории Республики Беларусь по всем областям позволит значительно повысить статистику исследований и дополнить подробную картину уровней активности радона в воздухе помещений Республики Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности». Введ. 28.12.2012. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: [http://minzdrav.gov.by/upload/dadwfiles/000390\\_154299\\_PostMZ\\_N213\\_2012\\_Sanpin.doc](http://minzdrav.gov.by/upload/dadwfiles/000390_154299_PostMZ_N213_2012_Sanpin.doc). – Дата доступа: 20.02.2023.
2. Проведение комплексных исследований природных источников ионизирующих излучений, обусловленных радоном-222. Оценка доз радиоактивного облучения населения Беларуси в различных регионах в обеспечение Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии»: отчет о НИР (заключ.) / ОИЭЯИ–Сосны НАН Беларуси; рук. темы И.В. Жук. – Минск, 2020. – 295 с. – № ГР 20160839. – Инв. № 2060.
3. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. Мн. 1808-2002. – Минск, 2002. – 18 с.
4. Разработка и метрологическая аттестация методики для массовых измерений объемной активности радона в жилых и производственных помещениях с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: отчет о НИР (заключ.) / ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны» НАН Беларуси; рук. темы О.И. Ярошевич. – Минск, 2002. – 117 с. – № ГР 2002763. – Инв. № 620.
5. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий. Методические указания МУК РБ № 11-8-6-2002. – Минск, 2002. – 21 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕДУР РАДОНОТЕРАПИИ OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION OF PERSONNEL DURING RADON THERAPY PROCEDURES

**А. С. Басак<sup>1,2</sup>, Т. В. Дашкевич<sup>1,2</sup>, Н. Н. Тушин<sup>1,2</sup>, Н. П. Минько<sup>3</sup>**  
**A. S. Basak<sup>1,2</sup>, T. V. Dashkevich<sup>1,2</sup>, N. N. Tushin<sup>1,2</sup>, N. P. Minko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Филиал «Санаторий «Радон» ОАО «Белагроздравица»,

Гродненская область, Дятловский р-н, Республика Беларусь  
nastyanevdakh01@bk.ru, dashkevich.tv@gmail.com, nrs@iseu.by, nteco@tut.by  
Belarusian State University, BSU

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Персонал подвергается воздействию радона и его дочерних продуктов распада на рабочих местах в процессе своей профессиональной деятельности. Особый интерес представляют условия облучения работников радоновых лечебниц и курортов. Эффективная доза облучения персонала при отдыхе в радоновых ваннах определяется двумя основными компонентами: внешним облучением тела за счет гамма-излучения короткоживущих дочерних продуктов распада радона, содержащихся в радоновой воде, и внутренним

облучением за счет ингаляционного поступления радона и его ДПР с вдыхаемым воздухом. Для достоверной оценки эффективной дозы облучения персонала радоновых лечебниц и курортов необходимо проведение радиационного контроля рабочего места с последующей оценкой доз с учетом максимально возможных значений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона во время процедур радонотерапии (ванны, ингаляции, орошение). Эквивалентная равновесная объемная активность – концентрация активности радона или торона, находящегося в радиоактивном равновесии с короткоживущими дочерними продуктами его распада, которые имеют ту же концентрацию скрытой энергии альфа-излучения, что и фактическая (неравновесная) смесь.

Personnel are exposed to radon and its daughter decay products in the workplace during their professional activities. Of particular interest are the conditions of irradiation of workers of radon hospitals and resorts. The effective radiation dose of personnel during the release of water radon baths is determined by two main components: external irradiation of the body due to gamma radiation of short-lived daughter products of radon decay contained in radon water, and internal irradiation due to inhalation of radon and its DPR with inhaled air. For a reliable assessment of the effective radiation dose of radon hospitals and resorts personnel, it is necessary to conduct radiation monitoring of the workplace with subsequent dose assessment taking into account the maximum possible values of the equivalent equilibrium volumetric activity (EROA) of radon during radon therapy procedures (baths, inhalations, irrigation). Equivalent equilibrium volumetric activity is the concentration of radon or thoron activity in radioactive equilibrium with short-lived daughter products of its decay, which have the same concentration of latent alpha radiation energy as the actual (nonequilibrium) mixture.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, персонал, радон, радонотерапия, радиационная защита, эффективная доза, эквивалентная равновесная объемная активность, облучение.

*Keywords:* radiation safety, personnel, radon, radon therapy, radiation protection, effective dose, equivalent equilibrium volume activity, irradiation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-176-180>

**Введение.** Изотопы радона –  $\alpha$ -активные радионуклиды. Их биологическая опасность во много раз превосходит опасность внутреннего облучения  $\beta$ -,  $\gamma$ - излучателями. Положительно заряженные и тяжелые  $\alpha$ -частицы при взаимодействии с веществом расходуют свою энергию на ионизацию и возбуждение атомов среды вплоть до полного торможения. В конце пробега, когда скорость частицы падает, отдача энергии частицами максимальна. Высокое содержание радона и его ДПР в воздухе является радиационным фактором возникновения онкологических заболеваний органов дыхания. Учитывая короткий период полураспада, радиобиологический эффект самого радона невелик, действуют в основном его дочерние продукты – радионуклиды полония, висмута и свинца. Проникая в верхние дыхательные пути и оседая в них, они создают локальные очаги облучения клеток [1].

Опасность радона, помимо вызываемых им функциональных нарушений (астматические приступы удушья, головокружение, тошнота и т.д.), заключается еще и в том, что вследствие внутреннего облучения легочной ткани он способен вызывать рак легких [1].

**Основная часть.** Общие принципы обеспечения радиационной безопасности при проведении процедур радонотерапии изложены в документах:

1. СНиП «Требования к радиационной безопасности» и ГН «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения РБ, с дополнением, утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28 декабря 2012 №213 (п.29, п.108, п.121);

2. СНиП «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 №137 (п. 230, п.233);

3. СанПиН 2.6.12-6-2005 «Гигиенические требования к устройству, оборудованию и эксплуатации радоновых лабораторий, отделений радонотерапии (радонолечебниц)», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 01.04.2005 №38;

4. Закон Республики Беларусь от 10.10.2022 г. № 208-З «О регулировании безопасности при использовании атомной энергии»;

5. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 31 мая 2010 г. № 22 об утверждении норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с источниками ионизирующего излучения. Общие положения»;

6. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 16 апреля 2020 г. № 18 «Об обучении и проверке (оценки) знаний по вопросам ядерной и радиационной безопасности».

Радиационный дозиметрический контроль проводится в соответствии с утвержденной Системой радиационного контроля и включает:

1. Контроль мощности экспозиционной дозы излучения на рабочих местах персонала;

2. Индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения персонала проводится постоянно с регистрацией результатов измерений один раз в квартал;



3. Измерение объемной активности радона в воздухе рабочих помещений и применяемых природных водах 1 раз в год.

Целью дозиметрического контроля является определение степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов, включая не превышение установленных основных пределов доз и допустимых уровней. Согласно протоколам результатов радиационного обследования, предоставленных санаторием «Радон», эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона в воздухе помещений ванной комнаты принимает значения от 21 до 69 Бк/м³ за 2018 год и от 14 до 357 Бк/м³ за 2021 год, при максимальных значениях 251,6 и 610,5 Бк/м³ соответственно. Результаты представлены в виде таблицы 1. Однако, следует обратить внимание на условия проведения измерений и полученные результаты, представленные в протоколе. Условия проведения измерений недостаточно точно и полно описывают максимально достижимую ЭРОА при условии проведения процедур.

Таблица 1

*ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений*

| Мест измерения, назначения                                       | 2018 год                                   |                                                     | 2021 год                                |                                                     |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                  | ЭРОА $^{222}\text{Rn} \pm \Delta$<br>Бк/м³ | Максимальная<br>среднегодовая<br>ЭРОА радона, Бк/м³ | ЭРОА $^{222}\text{Rn} \pm \Delta$ Бк/м³ | Максимальная<br>среднегодовая ЭРОА<br>радона, Бк/м³ |
| Ванное отделение, точка №1                                       | 69±11                                      | 240,0                                               | 29±6                                    | 52,5                                                |
| Точка №2                                                         | 58±9                                       | 251,6                                               | 36±7                                    | 161,1                                               |
| Точка №3                                                         | 34±6                                       | 120,0                                               | 357±50                                  | 610,5                                               |
| Точка №4                                                         | 21±4                                       | 75,0                                                | 14±3                                    | 25,5                                                |
| Жемчужные ванны                                                  | 25±5                                       | 90,0                                                | 163±24                                  | 469,1                                               |
| Кабинет гинекологических<br>орошений                             | 103±15                                     | 354,0                                               | 24±5                                    | 43,5                                                |
| Кабинет гинекологических<br>орошений, рабочее место<br>медсестры | 105±16                                     | 363,0                                               | 19±4                                    | 34,5                                                |
| Кабинет 4-х камерных ванн,<br>рабочее место медсестры            | 53±9                                       | 186,0                                               | 11±3                                    | 21,0                                                |
| Кабинет подводного<br>вытяжения                                  | 85±14                                      | 297,0                                               | 30±6                                    | 54,0                                                |

По данным, представленным в протоколе была рассчитана эффективная доза облучения персонала.

Эффективная доза внешнего облучения персонала при объемной активности радона (Бк/м³), равной 21 Бк/м³ при продолжительности пребывания на рабочем месте не более 2000 ч в год составляет [2]:

$$E_{out} = 1.65 * 21 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3} * 120000 \text{ мин} * 10^{-10} = 0,42 \text{ мЗв/год.} \quad (1)$$

Эффективная доза внутреннего облучения персонала за счет ингаляционного поступления радона и его ДПР с вдыхаемым воздухом [2]:

$$E_{inh} = 1.625 * A_{Rn}^{air} * T * 10^{-7}, \text{ Зв/год,} \quad (2)$$

$$E_{ing} = 1,625 * 21 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3} * 120000 * 10^{-7} = 0,41 \text{ мЗв/год.}$$

Суммарное значение эффективной дозы облучения персонала рассчитывается по формуле:

$$E_{sum} = E_{ing} + E_{out} = 0,42 + 0,41 = 0,83 \text{ мЗв/год.}$$

После дальнейших аналогичных расчетов, была составлена таблица (таблица 2) с результатами эффективной дозы облучения персонала при различных объемных активностях радона и его ДПР для ванного отделения.

Условия проведения единовременных измерений определены следующими документами:

1. ТКП 45-2.03-134-2009 Порядок обследования и критерии оценки радиационной безопасности строительных площадок, зданий и сооружений.

2. МВИ. МН 3862-2011. Методика выполнения измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона-222 и торона-220 в воздухе на радиометре аэрозолей РАА-10.

3. Методические указания МУК РБ № 11-8-6-2002 Проведение радиационно – гигиенического обследования жилых и общественных зданий.

4. Методика измерений мощности эквивалента дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами МВИ.МН 1906-2020.

Таблица 2

Результаты расчета эффективной дозы внешнего и внутреннего облучения персонала санатория «Радон»

| Место измерения, назначения |            | 2018 год                                             |                                              | 2021 год                                             |                                              |
|-----------------------------|------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                             |            | Эффективная доза по единовремен. измерению ЭРОА, мЗв | Эффективная доза по среднегод. значению, мЗв | Эффективная доза по единовремен. измерению ЭРОА, мЗв | Эффективная доза по среднегод. значению, мЗв |
| Ванное отделение, точка № 1 | Внешнее    | 1,37                                                 | 4,8                                          | 0,6                                                  | 1,0                                          |
|                             | Внутреннее | 1,35                                                 | 4,68                                         | 0,6                                                  | 1,0                                          |
|                             | Суммарное  | 2,7                                                  | 9,4                                          | 1,14                                                 | 2                                            |
| Точка № 2                   | Внешнее    | 1,2                                                  | 5,0                                          | 0,71                                                 | 3,2                                          |
|                             | Внутреннее | 1,1                                                  | 4,9                                          | 0,7                                                  | 3,1                                          |
|                             | Суммарное  | 2,3                                                  | 9,9                                          | 1,4                                                  | 6,3                                          |
| Точка № 3                   | Внешнее    | 0,67                                                 | 2,4                                          | 7,1                                                  | 12                                           |
|                             | Внутреннее | 0,67                                                 | 2,3                                          | 7,0                                                  | 11,9                                         |
|                             | Суммарное  | 1,3                                                  | 4,7                                          | 14,0                                                 | 24,0                                         |
| Точка № 4                   | Внешнее    | 0,42                                                 | 1,49                                         | 0,28                                                 | 0,51                                         |
|                             | Внутреннее | 0,41                                                 | 1,47                                         | 0,27                                                 | 0,49                                         |
|                             | Суммарное  | 0,83                                                 | 2,95                                         | 0,56                                                 | 1                                            |

Методические указания МУК РБ № 11-8-6-2002 «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий» не учитывают проведение обследования в помещениях радонолечебниц и радоновых курортов, а рассчитаны на жилые и общественные здания.

Технический кодекс (ТКП 45-2.03-134-2009), используемый для проведения измерений, устанавливает порядок обследования и критерии радиационной безопасности участков под застройку жилых, общественных и производственных зданий и сооружений различного назначения, построенных, реконструируемых, модернизируемых и капитально ремонтируемых жилых, общественных и производственных зданий и сооружений.

«Методика выполнения измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами МВИ.ГМ.1906-2020» устанавливает методику выполнения измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами при проведении радиационного контроля территорий, предприятий, рабочих мест, лесных и сельскохозяйственных угодий, зданий, сооружений, техники, транспорта, металлолома и т.д.

Таким образом, перечень технических нормативно-правовых актов, используемых для радиационного обследования санатория «Радон» не до конца учитывает специфику деятельности радонолечебницы. Соответственно, рассчитанные эффективные дозы облучения персонала по предоставленным данным протокола, могут не соответствовать действительности и в реальности быть несколько выше.

Следовательно, требуется разработка методики проведения радиационного контроля рабочих мест в условиях изменяющихся во времени активностей радона и его дочерних продуктов распада (т.е. с учетом процедур радонотерапии). Это позволит учесть реальные/максимально неблагоприятные с точки зрения формирования дозы облучения условия проведения процедур радонотерапии.

Кроме того, при оценке эффективной дозы необходимо учитывать внутреннее облучение персонала при вдыхании  $\alpha$ -излучающего радионуклида радона и его дочерних продуктов распада во время отпуска процедур. Т.е. ингаляционный путь вносит существенный вклад в облучение персонала, что на данный момент не учитывается. Следовательно, планирование дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала начинается с определения условий работы в производственных помещениях, связанных с потенциальным поступлением радионуклидов в организм человека, и количественной оценки возможного значения соответствующей этому поступлению ожидаемой эффективной дозы (ОЭД). Условия работы в производственном помещении характеризуются средним уровнем объемной активности радионуклидов в воздухе и параметрами источника поступления (основным путем поступления является ингаляционное поступление радионуклидов с вдыхаемым воздухом, а основными параметрами являются радионуклидный состав, тип соединения радионуклида и дисперсность, если радионуклид находится в форме аэрозоля) [3].

Основной задачей дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала в контролируемых условиях является оценка индивидуальной ОЭД каждого работника, а также определение среднего уровня облучения персонала. Первая характеристика позволяет установить факт не превышения работником установленных преде-

лов доз и допустимых уровней, вторая характеристика позволяет установить эффективность мер по оптимизации доз облучения и числа облучаемых лиц [3].

**Заключение.** Согласно протоколам результатов радиационного обследования, предоставленных санаторием «Радон», эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона в воздухе помещений ванной комнаты принимает значения от 21 до 69 Бк/м<sup>3</sup> за 2018 год и от 14 до 357 Бк/м<sup>3</sup> за 2021 год, при максимальных значениях 251,6 и 610,5 Бк/м<sup>3</sup> соответственно.

Однако, следует обратить внимание на условия проведения измерений и полученные результаты. Перечень технических нормативно-правовых актов, используемых для радиационного обследования санатория «Радон» не учитывает особенности объекта и, следовательно, условия проведения измерений недостаточно точно и полно описывают максимально достижимую ЭРОА. Соответственно, рассчитанные эффективные дозы облучения персонала по предоставленным данным протокола могут в реальности быть несколько выше.

Для решения проблемы необходимо разработать методику проведения измерений радона и его дочерних продуктов распада в воздухе помещений и воде, применяемой для процедур, что позволит учесть реальные условия облучения (или максимально неблагоприятные, в зависимости от сценария проведения испытаний).

Несмотря на достаточно серьезные биологические эффекты при ингаляционном и пероральном поступлении радона и его продуктов распада внутрь организма при проведении процедур радонотерапии, не существует нормативно-правовых документов или рекомендаций, которые бы позволили оптимизировать, и, при необходимости снижать, уровень ЭРОА и как следствие, эффективную дозу внешнего и внутреннего облучения персонала.

Для решения этих задач необходимо обеспечивать проведение радиационного контроля рабочего места с учетом максимально возможных значений ЭРОА радона при проведении процедур радонотерапии, обеспечить проведение регулярной радонометрии (в т.ч. пассивной радонометрии), медицинское наблюдение за облученными работниками.

Отдельное внимание следует уделить разработке рекомендаций, методических указаний для обеспечения проведения измерений величины объемной активности и ЭРОА радона в воздухе помещений радонолечебниц, а также МЭД гамма-излучения. Это позволит своевременно и достоверно оценивать эффективные дозы облучения персонала, а также принимать решения об оптимизации радиационной защиты персонала при проведении процедур радонотерапии с учетом внутреннего облучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Экологическая радиохимия и радиозология: учеб. пособие / Издатель П.Ю. Мархотин. – Минск, 2017. – 386 с.
2. Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации радоновых лабораторий, отделений радонотерапии» «Методика расчета эффективных доз облучения пациентов при отпуске радоновых процедур» №4: утверждено главным санитарным врачом РФ 12.01.2015: Введен 12.01.2015. – Минск, 2015. – 7 с.
3. Молоканов, А.А. Развитие системы контроля внутреннего облучения персонала – использование современных технологий / А.А. Молоканов, Б.А. Кухта // Анри. – 2019. – №1 (96). – С. 1–13.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТНЫХ ВЕЛИЧИН В РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF PROTECTION QUANTITIES IN RADIATION SAFETY

**Н. Н. Тушин<sup>1,2</sup>, О. М. Хаджинова<sup>1,2</sup>**

**N. N. Tushin<sup>1,2</sup>, O. M. Khajynava<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
nrs@iseu.by, nteco@tut.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) совместно с Международной комиссией по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) выпустила отчет относительно операционных величин для контроля внешнего облучения [1], который существенно меняет концепцию использования операционных величин. В недавно представленной публикации МКРЗ 147 [2] также даны предложения по внесению

изменений в систему защитных величин в радиационной безопасности. В перспективе на основании этих предложений планируется изменение действующих рекомендаций МКРЗ №103 [3]. В работе показаны основные направления совершенствования системы дозиметрических величин, применяемых в радиационной защите.

The International Commission on Radiological Protection (ICRP), together with the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), has released a report on operational quantities for external radiation exposure [1], which significantly changes the concept of using operational quantities. The recently presented ICRP Publication 147 [2] also provides proposals for changes to the system of protection quantities in radiation safety. In the future, based on these proposals, they are going to change the current recommendations of the ICRP No. 103 [3]. The paper shows the main directions for improving the system of dose quantities used in the field of radiation safety.

*Ключевые слова:* радиационная защита, МКРЗ, защитные величины, эффективная доза, эквивалентная доза, поглощенная доза, операционные величины.

*Keywords:* radiation protection, ICRP, protection quantities, effective dose, equivalent dose, absorbed dose, operational quantities.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-180-184>

В 2021 г. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ, ICRP) инициировала пересмотр общих рекомендаций МКРЗ 2007 года [3] относительно системы радиационной защиты человека. В недавно представленной публикации ICRP 147 [2] и отчете ICRP/ICRP [1] описаны масштабы предполагаемых изменений. При этом приводятся рекомендации по внесению существенных изменений в систему используемых в радиационной защите величин.

Согласно текущим рекомендациям МКРЗ [3] для установления пределов доз используются защитные величины эффективная доза и эквивалентная дозы. Возникающие в коже и хрусталике глаза эффекты облучения относятся к тканевым реакциям (детерминированным эффектам). Исходя из того, что поглощенная доза является наиболее подходящей величиной для описания тканевых реакций, а понятие эквивалентной дозы в органе или ткани основано на взвешивающем коэффициенте излучения ( $w_R$ ), который связан со стохастическими эффектами, МКРЗ считает необходимым для предотвращения тканевых реакций в качестве защитной величины ввести поглощенную дозу. Это изменение проведет четкое различие между пределами, применимыми к тканевым реакциям, установленными в поглощенной дозе (Гр), и ограничениями, применимыми к стохастическим эффектам, установленными в эффективной дозе (Зв). Взвешивающие коэффициенты излучения ( $w_R$ ), применяемые к поглощенным дозам при расчете эквивалентной дозы, относятся скорее к стохастическим эффектам при низких уровнях облучения, чем к тканевым реакциям. При этом эквивалентная доза будет промежуточной величиной при расчете эффективной дозы. Поэтому МКРЗ полагает, что использование эквивалентной дозы для установления пределов доз на органы и ткани для предотвращения тканевых реакций должно быть прекращено, а существующие пределы доз могут применяться до тех пор, пока не будут выпущены новые рекомендации. Комиссия рассчитывает внести данное изменение в своих следующих общих рекомендациях.

Что касается эффективной дозы, то МКРЗ исходит из того, что в настоящее время и в будущем на международном уровне данную величину следует использовать в качестве основной величины радиологической защиты. Эффективная доза является мерой общей дозы облучения организма человека от внешних и внутренних источников и обеспечивает оценку радиационного риска. Она является ценной и надежной величиной для использования при оптимизации радиационной защиты персонала и населения, установления критериев контроля (граничных доз, референтных уровней и дозовых пределов). При использовании эффективной дозы предполагается, что эффект облучения идентичен при остром и хроническом облучении при малых дозах, а также в случае внутреннего и внешнего облучения. Использование эффективной дозы предполагает линейную беспороговую зависимость доза-эффект между дозой и риском при низких дозах или низких мощностях дозы. Хотя эффективная доза чаще всего используется при дозах ниже 100 мЗв, её использование в ситуациях аварийного облучения при острых дозах в диапазоне примерно до 1 Зв является по мнению МКРЗ разумным.

В соответствии с текущими подходами [3] эффективная доза как нормируемая величина оценивается для условного человека (Reference Person) путем усреднения эффективных доз, рассчитанных для взрослого условного мужчины и условной женщины. Хотя признаны различия в риске на 1 Гр в зависимости от возраста, пола и рассматриваемой группы лиц, для осуществления системы радиационной защиты человека нет необходимости учета различий на индивидуальном уровне.

Защитные величины МКРЗ (эквивалентная и эффективная дозы) предполагают суммирование доз от внешних и внутренних источников облучения и могут применяться как к персоналу, так и к населению. Основное применение эффективной дозы заключается в планировании радиационной защиты и контроле соблюдения ее требований в различных ситуациях облучения персонала и населения. При оптимизации радиационной защиты данная величина подлежит сравнению с пределами доз, граничными дозами и референтными уровнями, которые определены для стохастических эффектов при равномерном облучении всего тела. Расчет эффективной дозы можно рассматривать как трехэтапный процесс, начинающийся с оценки средней поглощенной дозы в органе и ткани (грей (Гр), Дж/кг). Поскольку виды ионизирующих излучений различаются по своей способности вызывать



биологические эффекты, включая рак, вторым шагом является умножение рассчитанных значений поглощенной дозы на весовые коэффициенты излучения ( $w_R$ ), учитывающие большую эффективность плотно-ионизирующих излучений, включая альфа-частицы и нейтроны, по сравнению с редко-ионизирующими излучениями (бета-частицы и гамма-излучение). Результат называется «эквивалентной дозой» (зиверт (Зв)). Последним шагом является суммирование эквивалентных доз в отдельных органах и тканях, осуществляя умножение каждой из них на весовой коэффициент ткани ( $w_T$ ), который представляет ее вклад в общий ущерб организму от равномерного облучения всего тела. Таким образом, эффективная доза представляет собой суммирование дважды взвешенных поглощенных доз в органе или ткани. Цель при этом состоит в том, чтобы общий риск на 1 Зв был сопоставим независимо от типа и распределения облучения. Эффективная доза, выраженная в Зв, является хорошо известной эквидозиметрической величиной радиационной защиты, которую часто называют просто «доза».

Также следует отметить, что коллективная эффективная доза является ценным инструментом оптимизации защиты для персонала и населения. Ее можно использовать вместе с распределением индивидуальных доз для принятия решений об оптимальном балансе между относительно большим облучением определенной группы работников и меньшим облучением большего числа работников. Для облучения населения ее можно использовать как часть процесса оптимизации для ситуаций запланированного, существующего и аварийного облучения. Для профессионального облучения, облучения населения и медицинского облучения она используется для сравнения уровней облучения в разных странах и изменений уровней доз во времени. Ее использование для прогнозирования потенциальных последствий для здоровья может быть полезным в определенных ситуациях. Например, для информирования о необходимости последующего медицинского или эпидемиологического наблюдения. Однако следует относиться с осторожностью и оценивать в отношении фоновых показателей заболеваемости с учетом распределения доз во времени и пространстве, а также неопределенностей в оценке дозы и риска. Следует избегать подсчета числа случаев рака на основе коллективных эффективных доз, связанных с чрезвычайно низким облучением очень больших групп лиц. Из-за больших неопределенностей, связанных с такими оценками, результаты будут скорее вводить в заблуждение, чем быть информативными. Комиссия дала рекомендации по использованию коллективной дозы в качестве инструмента оптимизации защиты в Публикации 101 [4]. Коллективная эффективная доза не предназначена в качестве инструмента для оценки эпидемиологического риска, и ее нецелесообразно использовать в формальных прогнозах риска.

Для индивидуального дозиметрического контроля и контроля радиационной обстановки МКРЕ и МКРЗ предложено использовать операционные величины. Ввиду того, что эквидозиметрические (защитные) величины не поддаются измерению, необходимо определить рабочие параметры (операционные величины), которые можно было бы связать путем измерения с характеристиками поля излучения. Таким образом, применяемые операционные величины рассматриваются как связующее звено между защитными величинами и полем излучения.

Используемый в настоящее время набор операционных величин был определен более 30 лет назад. Для индивидуального мониторинга рабочей величиной является индивидуальный эквивалент дозы,  $H_p(d)$ , который представляет собой эквивалент дозы в (мягких) тканях на соответствующей глубине,  $d$ , под определенной точкой на теле человека. За указанную точку обычно принимают место ношения индивидуального дозиметра. Для оценки эффективной дозы при измерении индивидуального эквивалента дозы была выбрана глубина  $d = 10$  мм и  $H_p(10)$ . Если дозиметр носится в положении тела, репрезентативном для облучения всего тела, предположили, что значение  $H_p(10)$  дает разумную оценку эффективной дозы. Для оценки дозы на кожу и конечности в качестве рабочей величины рекомендуется использовать индивидуальный эквивалент дозы  $H_p(0,07)$  с глубиной  $d = 0,07$  мм. Для случая контроля дозы на хрусталик глаза была предложена глубина  $d = 3$  мм ( $H_p(3)$ ). Следуя Публикации МКРЗ 116 [5], в которой представлены обновленные дозовые коэффициенты для профессионального облучения от внешних источников с использованием эталонных фантомов для взрослых, МКРЕ пересмотрела определение операционных величин. Были выявлены следующие недостатки: опубликованные конверсионные коэффициенты были рассчитаны с использованием приближения кермы (т. е. без учета переноса энергии вторичными заряженными частицами), а операционные величины не являются достаточно хорошим приближением для эффективной и эквивалентных доз органов и тканей при низких и высоких энергиях излучения.

К недостаткам используемой сейчас системы операционных величин относят то, что фантомы, используемые для оценки используемых операционных величин, отличаются от фантомов, используемых для оценки защитных величин. Используется три фантома: антропоморфный фантом (позже за ним последовал воксельный фантом МКРЗ) для расчета эффективной дозы, физически нереализуемая сфера МКРЕ при контроле радиационной обстановки и пластинчатые, цилиндрические или стержневые фантомы для индивидуальных операционных величин. Так же надо отметить, что конверсионные коэффициенты не доступны для более высоких энергий фотонов и нейтронов. Метод расчета коэффициента преобразования, использующий приближение кермы, признан недостаточной аппроксимацией в случае высоких энергий. Значения, рассчитанные с использованием приближения кермы, предполагают завышение эффективной дозы, а значения, рассчитанные без этого учета, явно указывают на занижение эффективной дозы.

После разработки воксельного фантома МКРЗ [5] и широкой доступности вычислительных методов Монте-Карло (коды PHITS, FLUKA, MCNP, MCNP), использование операционных величин, как они определены в настоящее время, стало сомнительным. Поэтому результатом стали предложения МКРЗ и МКРЕ относительно нового подхода к определению операционных величин для индивидуального дозиметрического контроля и контроля радиационной обстановки.



Таблица 1

## Сравнение рекомендаций относительно защитных величин

|                                  | Организм                                 |                           | Хрусталик глаза                               |                                          | Кожа                       |                                               |
|----------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|
|                                  | Эффективная доза                         |                           | Эквивалентная доза на хрусталик               |                                          | Эквивалентная доза на кожу |                                               |
| Защитные величины                | Е                                        |                           | $H_{T, \text{lens}}$                          |                                          | $H_{T, \text{local skin}}$ |                                               |
| Отчет МКРЕ                       | МКРЕ 57                                  | МКРЕ 95                   | МКРЕ 57                                       | МКРЕ 57                                  | МКРЕ 95                    | МКРЕ 57                                       |
| Контроль радиационной обстановки | Эквивалент амбиентной дозы $H^*(10)$     | Амбиентная доза $H^*$     | Эквивалент направленной дозы $H^*(3, \Omega)$ | Эквивалент амбиентной дозы $H^*(10)$     | Амбиентная доза $H^*$      | Эквивалент направленной дозы $H^*(3, \Omega)$ |
| Индивидуальный контроль          | Эквивалент индивидуальной дозы $H_p(10)$ | Индивидуальная доза $H_p$ | Эквивалент индивидуальной дозы $H_p(3)$       | Эквивалент индивидуальной дозы $H_p(10)$ | Индивидуальная доза $H_p$  | Эквивалент индивидуальной дозы $H_p(3)$       |
| Единицы                          | Зв                                       | Зв                        | Зв                                            | Гр                                       | Зв                         | Гр                                            |

Амбиентная доза  $H^*$  теперь определяется как произведение плотности потока частиц в точке,  $\Phi$ , и коэффициента преобразования, связывающего плотность потока частиц с максимальным значением эффективной дозы,  $E_{\text{max}}$ , для различных условий облучения. Единицей измерения остается Зв. Направленная поглощенная доза в хрусталике глаза,  $D'_{\text{lens}}(\Omega)$ , в точке поля излучения с заданным направлением падения,  $\Omega$ , является произведением плотности потока частиц в этой точке,  $\Phi(\Omega)$ , и коэффициента преобразования, связывающий плотность потока частиц со значением поглощенной дозы в хрусталике глаза. Поскольку теперь это относится к поглощенной дозе, единицей измерения является Гр. Точно так же направленная поглощенная доза в коже теперь определяется в терминах Гр как произведение плотности потока частиц в этой точке и коэффициента преобразования, связывающего плотность потока частиц со значением поглощенной дозы в коже. Конверсионные коэффициенты для амбиентной дозы  $H^*$  рассчитываются для облучения эталонных (воксельных) фантомов всего тела человека в расширенном и выровненном поле излучения.

Фантомы для определения индивидуальной дозы идентичны фантомам для амбиентной и направленной доз. Кроме того, цилиндрический фантом для конечностей и стержневой фантом для пальца также определены для индивидуальной поглощенной дозы на кожу конечностей.

Индивидуальная доза  $H_p$  (Зв) в какой-либо точке тела представляет собой произведение плотности потока частиц, падающих в эту точку, и конверсионного коэффициента, связывающего плотность потока частиц со значением эффективной дозы Е. Индивидуальная поглощенная доза (Гр) в хрусталике глаза является произведением плотности потока частиц, падающих в эту точку, и конверсионного коэффициента, связывающего плотность потока частиц со значением поглощенной дозы в хрусталике глаза. Индивидуальная поглощенная доза в коже (Гр) является произведением плотности потока частиц, падающих на тело или конечности и конверсионного коэффициента, связывающего плотность потока частиц со значением поглощенной дозы в коже.

Следует отметить, что ранее коэффициенты преобразования были доступны только для фотонного, нейтронного и электронного излучений. Теперь в дополнение к ним даются также коэффициенты преобразования для позитронов, протонов, мюонов, пионов и альфа-частиц. При малых энергиях фотонов, менее 70 кэВ, как было известно ранее, происходит значительное завышение эффективной дозы. Между 70 кэВ и 3 МэВ эффективная доза завышена, так как глубина 10 мм, выбранная для  $H^*(10)$  и  $H_p(10)$  предназначалась для оценки максимального эквивалента дозы. Однако при более высоких энергиях фотонов доза на 10 мм занижает эффективную дозу. Ранее казалось, что глубина 10 мм адекватно отражает эффективную дозу. Для нейтронов глубина 10 мм также не подходит для оценки эффективной дозы. При энергиях более 40 МэВ наблюдается занижение эффективной дозы. Для электронов с энергиями <2 МэВ пробег составляет <10 мм, поэтому вклад в  $H^*(10)$  или  $H_p(10)$  отсутствует. При предлагаемом определении такие электроны вносят вклад в эффективную дозу. Для протонов  $H^*(10)$  завышает эффективную дозу для энергий <80 МэВ и занижает для энергий >100 МэВ.

МКРЗ считает, что предлагаемые изменения упрощают систему защитных и операционных величин. В полях излучения высокоэнергетических фотонов, нейтронов, электронов и других типов частиц эти изменения необходимы и обеспечат согласованность измерений. На практике потребуются изменения либо в алгоритме, либо в конструкции существующих дозиметров. Конверсионные коэффициенты теперь напрямую связаны со значениями величин защиты. Защитные величины переопределяются как произведения радиометрических (или дозиметрических) величин и коэффициентов преобразования. Теперь фантомы для расчета защитных величин и операционных величин (эффективная доза и поглощенная доза на хрусталик глаза и кожу) идентичны.

В заключение можно констатировать, что предлагаемые МКРЗ изменения определенно представляют собой смену парадигмы в практическом использовании системы защитных величин в радиационной безопасности. Однако до практической реализации выше изложенных предложений еще далеко, поскольку соответствующие

нормы безопасности МАГАТЭ и документы МЭК/ИСО для практического применения предлагаемых подходов отсутствуют. В настоящее время ясно, что  $H^*(10)$  и  $H_p(10)$  завышают эффективную дозу для фотонов с энергией до 3 МэВ, при этом для низкоэнергетических фотонов это завышение возможно в 2–4 раза. В целом это отвечает интересам персонала в условиях облучения и в настоящее время может считаться целесообразным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Operational quantities for external radiation exposure: Report 95 / International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) // Journal of the ICRU. – SAGE, 2020. – Vol. 20 (1). – 130 p.
2. Use of dose quantities in radiological protection: ICRP Publication 147 / International Commission on Radiological Protection (ICRP) // Annals of the ICRP. – SAGE, 2021. – Vol. 50 (1). – 85 p.
3. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 103 / International Commission on Radiological Protection (ICRP) // Annals of the ICRP. – Elsevier Ltd, 2007. – Vol. 37. – 334 p.
4. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public: ICRP Publication 101 / International Commission on Radiological Protection (ICRP) // Annals of the ICRP. – Elsevier Ltd, 2006. – Vol. 37 (3). – 116 p.
5. Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures: ICRP Publication 116 / International Commission on Radiological Protection (ICRP) // Annals of the ICRP. – Elsevier Ltd, 2006. – Vol. 40 (2–5). – 261 p.

## ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В СТОМАТОЛОГИИ

### RADIATION DOSE IN DENTISTRY

**A. A. Будько<sup>1,2</sup>, О. М. Хаджинова<sup>1,2</sup>**

**A. A. Budko, O. M. Khajynava**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
*nrs@iseu.by, budko.anzhelika@gmail.com*

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

В статье рассмотрены методы использования рентгеновского излучения для решения задач стоматологии. Проанализированы пути формирования дозы облучения персонала рентгеновских стоматологических установок, а также определены параметры различных типов установок, важные при формировании дозы облучения пациента. Проведена оценка дозы облучения пациентов и персонала при проведении рентгенодиагностических процедур в стоматологии.

This article discusses the methods of using X-rays to solve problems in dentistry. To analyze the ways of forming the radiation dose for the personnel of X-ray dental units, and also to determine the parameters of various types of units that are important in the formation of the patient's exposure dose. An assessment of the exposure dose of patients and personnel during X-ray diagnostic procedures was carried out.

**Ключевые слова:** рентгенодиагностика, эффективная доза, рентгеновские стоматологические установки.

**Keywords:** X-ray diagnostics, effective dose, X-ray dental units.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-184-187>

В стоматологии при распознавании у пациентов большинства заболеваний и повреждений применяются различные методы лучевой диагностики, но рентгеновские стоматологические исследования являются одним из наиболее распространенных видов рентгенологических исследований населения. На его долю приходится более 90 % всех лучевых диагностических исследований.

Тенденции развития рентгеновской диагностики в стоматологии свидетельствуют о все возрастающем вкладе данного вида лучевого воздействия. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 60 % всех выполняемых рентгенологических исследований приходится на стоматологию.

Современная стоматология невозможна без методов рентгенодиагностики, которые предоставляют объективные данные о патологических процессах челюстно-лицевой области. Изучение и правильная интерпретация

изображений позволяют выбрать адекватную тактику лечения, контролировать развитие болезни и эффективность лечебных мероприятий.

Для каждой области стоматологии, предпочтительными способами рентгенодиагностики являются разные способы исследования. Из всех известных рентгенологических методов, применяемых в стоматологии, можно выделить 6 основных групп: внутриротовая рентгенография, внеротовая рентгенография, обзорная рентгенография, длиннофокусная рентгенография, визиография, компьютерная томография. Несмотря на появление новых методов диагностики, классическая рентгенография остается основным методом диагностики заболеваний челюстно-лицевой области.

Методы рентгенодиагностики нашли широкое применение в практике терапевтической стоматологии (для выявления заболеваний пери- и пародонта); в ортопедической стоматологии (для оценки состояния сохранившихся зубов, периапикальных тканей, пародонта, что определяет выбор ортопедических мероприятий). Незаменимы рентгенологические методы и для челюстно-лицевой хирургии в диагностике травматических повреждений, воспалительных заболеваний, кист, опухолей и других патологических состояний.

Таким образом, современная стоматология – это востребованная, амбулаторная медицинская помощь, которая постоянно совершенствуется и развивается на основе новейших технологий рентгеностоматологической диагностики.

Облучение, как пациентов, так и медицинского персонала за счет использования ионизирующего излучения (ИИ) в медицинской практике, продолжает оставаться ведущим в суммарном вкладе воздействия ИИ на человека. Следует отметить, что облучение рентгеновским медицинским оборудованием вносит преобладающую долю в коллективную дозу облучения населения по всему миру.

По этой причине необходима оценка доз для возможности оптимизации радиационной защиты при проведении рентгеностоматологических исследований и совершенствования системы обоснования назначения процедур.

В случае применения ИИ в медицинских целях облучению подвергается персонал и пациенты.

Оценка дозы персонала и пациентов проводилась на основе данных, полученных в стоматологической клинике. Для проведения исследований в данной организации применяется 3 типа рентген-аппаратов: рентгеновский аппарат Planmeca ProX, трехмерный томограф CS 9300 3D, панорамный рентгеновский аппарат Gendex300.

Для рентгеновских установок стоматологии расчет эффективной дозы облучения пациента проводился в соответствии с методикой [1], основанной на значении радиационного выхода рентгеновского излучателя. Если рентгеновский аппарат не оборудован измерителем произведения дозы на площадь, определение эффективной дозы облучения пациента проводят с использованием периодически измеряемых значений радиационного выхода рентгеновского излучателя. Значение эффективной дозы облучения пациента при проведении медицинской рентгенодиагностической процедуры определяется по формуле:

$$E = 10^{-3} \cdot R \cdot i \cdot t \cdot Ke, \text{ мЗв}, \quad (1)$$

где  $E$  – эффективная доза облучения пациента;

$R$  – радиационный выход рентгеновской трубки, (мГр·м<sup>2</sup>)/(мА·мин);

$i$  – сила тока рентгеновской трубки, мА;

$t$  – время проведения исследования, с;

$Ke$  – коэффициент перехода от радиационного выхода рентгеновской трубки к эффективной дозе облучения пациента с учетом вида проведенной рентгенодиагностической процедуры, проекции, размеров поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на рентгеновской трубке, (мкЗв)/(мГр·м<sup>2</sup>) [1].

Проведены оценки дозы облучения пациента на одно исследование для используемых в клинике аппаратов. Радиационный выход для аппаратов Planmeca ProX и Gendex-300 составляет  $R = 4,8$  мГр·м/мА·мин и  $R = 5,6$  мГр·м/мА·мин соответственно. Рентгеновский аппарат Planmeca ProX, работающий в режиме визиографа, и панорамный рентгеновский аппарат Gendex-300 формируют эффективные дозы за одну процедуру, значения которых представлены в таблице 1. Доза зависит от вида проводимой процедуры. Эффективная доза за исследование на визиографе Planmeca ProX меньше эффективной дозы, получаемой при проведении исследования на аппарате Gendex-300.

Таблица 1

*Эффективная доза облучения пациентов за исследование  
при использовании дентальных аппаратов Planmeca ProX и Gendex-300*

| Челюсть | Зубы      | Эффективная доза за исследование на аппарате Planmeca ProX, мЗв | Эффективная доза за исследование на аппарате Gendex-300, мЗв |
|---------|-----------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Верхняя | Резцы     | 0,0013                                                          | 0,0097                                                       |
|         | Премоляры | 0,0023                                                          | 0,0112                                                       |
|         | Моляры    | 0,0031                                                          | 0,0088                                                       |
| Нижняя  | Резцы     | 0,0012                                                          | 0,0041                                                       |
|         | Премоляры | 0,0013                                                          | 0,0037                                                       |
|         | Моляры    | 0,0015                                                          | 0,0032                                                       |

Значения эффективных доз облучения пациентов при исследованиях зубов на трехмерном томографе CS 9300 3D приведены в таблице 2. Радиационный выход для трехмерного томографа CS 9300 3D составляет  $R=6,9 \text{ мГр} \cdot \text{м/мА} \cdot \text{мин}$ . Максимальное значение получено при использовании данного аппарата в режиме КТ, при этом эффективная доза облучения в этом случае составляет 0,534 мЗв.

Таблица 2

*Эффективная доза облучения пациентов за исследование при использовании трехмерном томографе CS 9300 3D*

| Исследование | Время экспозиции, с | Эффективная доза за исследование, мЗв |
|--------------|---------------------|---------------------------------------|
| КТ           | 20                  | 0,534                                 |
| Цефалостат   | 2                   | 0,0031                                |
| Панорамная   | 12                  | 0,0254                                |

Использование ИИ в медицинской практике продолжает оставаться одним из ведущих источников облучения медицинского персонала. Побочным явлением рентгеновских стоматологических методов диагностики является радиационное воздействие на персонал и поэтому вопросы радиационной защиты в стоматологической практике, в отношении персонала, являются актуальными.

Дозы профессионального облучения персонала обусловлены следующими радиационно-физическими факторами:

1) первичный пучок рентгеновского излучения, попадающий из рентгеновской трубки на исследуемый участок поверхности тела пациента;

2) рентгеновское излучение, рассеянное в теле пациента и в элементах конструкции рентгеновского аппарата и возникающее вследствие эффектов комптоновского рассеивания фотонов. Фактически из-за рассеивания излучения тело пациента становится главным источником профессионального облучения персонала;

3) излучение утечки рентгеновской трубки, возникающее вне фокального пятна на аноде рентгеновской трубки. Реальный вклад от этой компоненты в облучение персонала пренебрежимо мал благодаря рациональной конструкции современных рентгеновских аппаратов.

Дозиметрический контроль персонала рентгеновских отделений осуществляется двумя способами: дозиметрический контроль рабочих мест и индивидуальный дозиметрический контроль [2]. Дозиметрический контроль рабочих мест проводится с целью прогнозирования доз персонала. Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) является составной частью радиационного контроля, осуществляемого при санитарно-гигиенической оценке условий труда персонала, непосредственно работающего с источниками ионизирующего излучения. Определение годовых доз персонала проводится по результатам индивидуального дозиметрического контроля, проводимого с помощью ТЛД типа ДТЛ-02.

ИДК персонала был проведен в соответствии с методикой [3] в течение ноября 2022 г., при этом дозиметры ДТЛ-02 располагались в процедурном помещении, комнате управления и кабинете рентгенлаборанта и контролировалась доза облучения рентгенлаборанта. Расположение дозиметров определялось с учетом условий работы персонала.

Дозиметр был выдан рентгенлаборанту, который по условиям труда находится в процедурном помещении. При этом напряжение на рентгеновской трубке составляет от 40 до 120 кВ. При этих условиях облучения, в соответствии с методическими указаниями [4], рекомендуется использование двух индивидуальных дозиметров, расположенных над защитным фартуком и под ним.

Для оценки эффективной дозы в данном случае используется следующая формула:

$$E = 0,60 \cdot H_{p1}(10) + 0,025 \cdot H_{p2}(10), \text{ мЗв}, \quad (2)$$

где  $H_{p1}(10)$  – доза, зарегистрированная дозиметром, расположенным на груди под защитным фартуком, мЗв;

$H_{p2}(10)$  – доза, зарегистрированная дозиметром, расположенным над фартуком на груди, мЗв.

В качестве значения эквивалентной дозы на поверхности нижней части области живота женщины в возрасте до 45 лет необходимо принимать значение, соответствующее показанию дозиметра, расположенного под фартуком на уровне талии [3]. Экспозиция дозиметров проводилась 1 месяц. Период ношения индивидуального дозиметра на груди согласно инструкции по проведению ИДК [3] составляет 3 месяца. Предел эффективной дозы облучения персонала составляет 20 мЗв в год согласно [5]. Для сравнения осуществим пересчет экспериментальных значений ИЭД на уровне груди на квартал, предполагая, что изменений фона и количества проводимых рентгенодиагностических процедур в течение трех месяцев не происходило. Значения, полученные с помощью ТЛД дозиметров, представлены в таблице 3.

Результаты измерений с использованием ТЛД типа ДТЛ-02

| Расположение дозиметра                  | ИЭД за 1 месяц, мЗв | ИЭД за квартал, мЗв |
|-----------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Контроль радиационной обстановки        |                     |                     |
| Кабинет                                 | 0,07                | 0,21                |
| Процедурное помещение                   | 0,08                | 0,24                |
| Комната управления                      | 0,07                | 0,21                |
| Индивидуальный дозиметрический контроль |                     |                     |
| На груди над фартуком                   | 0,14                | 0,42                |
| На груди под фартуком                   | 0,11                | 0,33                |
| Область живота                          | 0,08                | –                   |

Проведем расчет эффективной дозы облучения в соответствии с формулой 2.

$$E = 0,60 \cdot 0,33 + 0,025 \cdot 0,42 = 0,21 \text{ мЗв.}$$

Полученное значение эффективной дозы не превышает условного предела в течение квартала в 5 мЗв для персонала. Значения ИЭД в области живота рентгенлаборанта в эксперименте также не превышают предел доз облучения равный 1 мЗв в месяц [5]. Результаты измерения эффективной дозы с целью контроля радиационной обстановки не превышают фоновых значений.

Анализ доз облучения пациентов стоматологии показывает, что значения эффективных доз облучения пациента существенно зависят от группы и расположения исследуемых зубов, что напрямую связано со значением коэффициента перехода от значения радиационного выхода рентгеновского излучателя к эффективной дозе, приведенных в [1]. Так же эффективная доза, полученная пациентом, зависит от энергии рентгеновского излучения, времени исследования и в большей степени от размеров поля облучения.

При использовании трехмерного томографа CS 9300 3D значение эффективных доз значительно больше, чем при использовании рентгеновских аппаратов. Это связано с тем, что рентгенограмма представляет собой один снимок, а для получения томограмм делают несколько, соответственно, доза при КТ выше из-за многократной экспозиции. Кроме того, при дентальном КТ зона сканирования варьирует в пределах 4-10 см, что превышает размер зоны сканирования при проведении рентгенограммы.

Для анализа доз облучения персонала стоматологии были экспериментально определены значения эффективной дозы с помощью ТЛД в ноябре 2022. При условии ношения защитного фартука персоналом стоматологии эффективная доза за 3 месяца составляет 0,21 мЗв, что свидетельствует о непревышении основного дозового предела для персонала. Значение ИЭД в области живота из эксперимента, равное 0,08 мЗв, также не превышают предел доз облучения равный 1 мЗв в месяц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Власова Н. Г. Метод определения эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенодиагностических процедур : метод. указания / Н. Г. Власова, А. Н. Матарас, А. В. Рожко, Л. Н. Эвентова. – Гомель, 2016. – 83 с.
2. Нурлыбаев К. Н. Особенности дозиметрии в рентгенодиагностике / К. Н. Нурлыбаев, Ю. Н. Мартынюк // АНРИ. – 2011. – С. 7–14.
3. Инструкция по организации и проведении индивидуального дозиметрического контроля в лечебно-профилактических учреждениях : утв. М-вом здравоохранения Республики Беларусь 11.12.03. – Минск : Респ. центр гигиены, эпидемиологии и обществ. здоровья, 2003. – 55 с.
4. Методические указания по организации и проведении индивидуального дозиметрического контроля персонала медицинских организаций : разработана Федеральным бюджетным учреждением науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева». – Санкт-Петербург, 2012. – 155 с.
5. Министерство здравоохранения Республики Беларусь постановление №213 Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к 42 радиационной безопасности» и Гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия». – Минск, 2012. – 32 с.



# ПОТЕРЯ ИНФОРМАЦИИ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

## LOSS OF INFORMATION OF THERMOLUMINESCENT DOSIMETERS DURING INDIVIDUAL DOSIMETRY CONTROL

**В. И. Бразинский<sup>1,2</sup>, А. Н. Скибинская<sup>1,2</sup>**

**U. I. Brazinsky<sup>1,2</sup>, H. M. Skibinskaya<sup>1,2</sup>,**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова», Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
braz31122001@gmail.com; nrs@iseu.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе проведен анализ потерь информации термолюминесцентных дозиметров. Рассматриваются факторы, оказывающие преобладающее влияние на потерю информации при организации индивидуального дозиметрического контроля, а именно: фединг, человеческий фактор и чувствительность отдельных детекторов. Представлены зависимости, описывающие степень потери информации от влияния различных факторов.

The text analyzes the information loss of thermoluminescent dosimeters. The factors that have a predominant influence on the loss of information in the organization of individual dosimetric control are considered, namely: fading, the human factor and the sensitivity of individual detectors. Dependencies are presented that describe the degree of information loss from the influence of various factors.

*Ключевые слова:* фединг, зонная теория, индивидуальный дозиметрический контроль, ТЛД.

*Keywords:* fading, electronic band structure, individual dosimetric control, TLD.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-188-191>

Для регистрации ионизирующих излучений различной физической природы используются методы, основанные на физико-химических эффектах, возникающих при взаимодействии излучения с веществом. За последние десятилетия, наибольшее распространение при проведении ИДК получила твердотельная дозиметрия, где в качестве чувствительного вещества детектора излучений используются конденсированные твердые тела полупроводниковой и диэлектрической природы. Одним из таких методов, является метод термолюминесцентной дозиметрии [1].

Принципы работы термолюминесцентных (ТЛ) детекторов основаны на зонной теории твердых тел. Согласно ей, в твердом теле существует 3 зоны: валентная зона, запрещенная зона и зона проводимости. Для ТЛ-детекторов используют диэлектрики или полупроводники с большой шириной запрещенной зоны.

Метод ТЛ-дозиметрии основан на том, что некоторые вещества с определенным сочетанием дефектов кристаллической решетки примесного и собственного происхождения после возбуждения ионизирующим излучением при нагревании испускают свет.

Процедура измерения дозы термолюминесцентным дозиметром сводится к тому, что облученный дозиметр нагревается и в процессе нагрева измеряется интенсивность свечения люминесценции. Полная светосумма, выделившаяся в процессе нагрева, является мерой поглощенной дозы. Кривая, выражающая зависимость интенсивности люминесценции от температуры нагрева называется кривой термовысвечивания (КТВ). Для аналитического описания этой зависимости необходимо знание закона нагрева.

Наиболее распространенным материалом, используемым как люминофор в термолюминесцентной дозиметрии, является фтористый литий по ряду причин: высокая тканэквиалентность, возможность использования при дозиметрии нейтронов, относительно низкая стоимость, низкий фединг относительно других материалов ТЛ-дозиметрии и большие диапазоны линейности для световых выходов [2].

Термолюминесцентные дозиметры не являются прямо показывающими дозиметрическими системами, а, следовательно, между облучением и процессом получения информации с детектора проходит время. В течение данного времени на детектор могут воздействовать различные факторы, которые могут привести к потере информации. Фактором, оказывающим наибольшее влияние, является фединг. Так же на потерю информации влияет: чувствительность каждого отдельного детектора, нестабильность измерительного тракта считывающей аппаратуры, человеческий фактор и собственный фон установки.

Под федингом понимают процесс потери информации, накопленной ТЛ-детектором. Существует ряд причин из-за которых происходит фединг, однако основными являются воздействие температуры и времени на детектор. При влиянии термического фактора, ловушки с более низкой энергией захвата освобождаются быстрее, чем ловушки с более высокой энергией, из-за большей вероятности перехода в зону проводимости. Это может привести к большим погрешностям при оценке поглощенной детектором дозы.

Для проведения исследований использовался дозиметрический термолюминесцентный комплекс «ДОЗА-ТЛД» - качественный и высокотехнологичный прибор, предназначен для индивидуального дозиметрического контроля радиационного облучения человека. Принцип действия комплекса основан на использовании явления термолюминесценции. Данный комплекс получил широкое распространение в организациях, проводящих индивидуальный дозиметрический контроль в нашей республике, поэтому результаты, полученные на данном комплексе, представляют особый практический интерес [3].

Для определения степени потери информации от различных факторов, было рассчитано референтное значение выборки. Расчёт индивидуального эквивалента дозы проводился согласно методике [4]. На рисунке 1 представлена кривая термовысвечивания для референтных детекторов, облученных 1 мЗв.

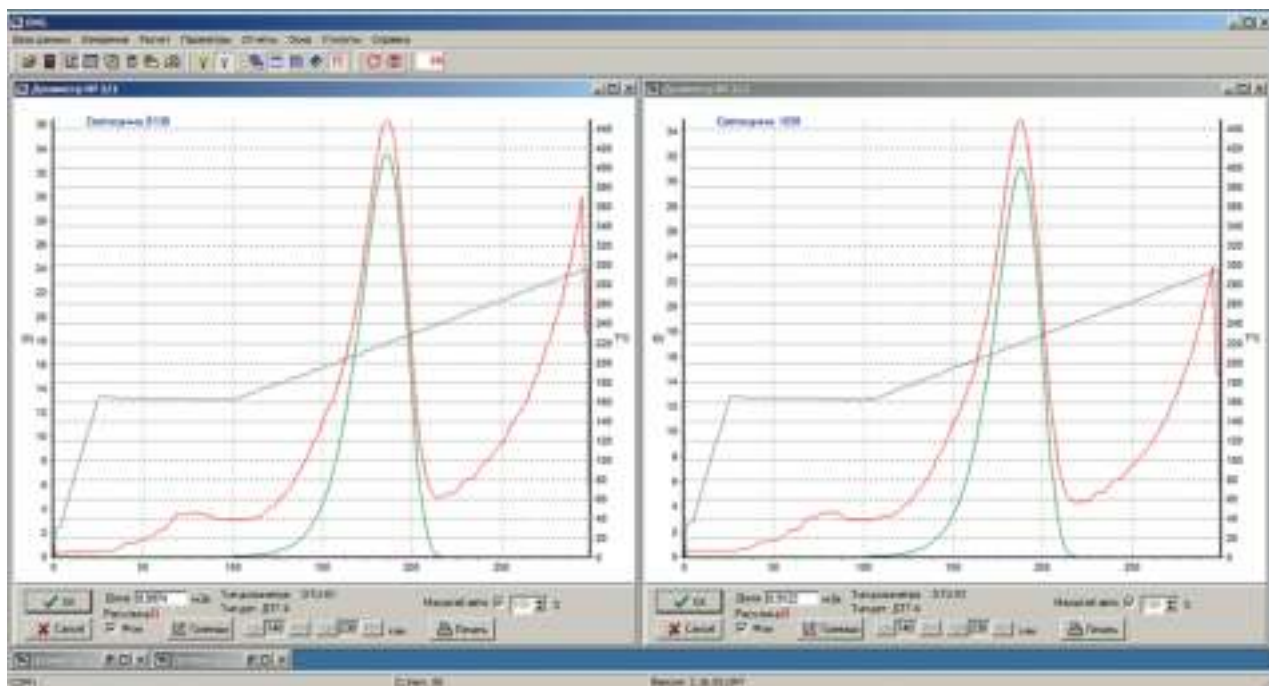


Рисунок 1 – Кривая термовысвечивания референтных детекторов, облученных 1 мЗв

В результате измерений значение индивидуального эквивалента дозы референтных детекторов, облученных 1 мЗв равно  $H_p(10) = 0,94 \pm 0,32$ , мЗв.

В ходе исследования был проведен ряд экспериментов для определения степени потери информации от влияния вышеизложенных факторов. В качестве исследования влияния фединга был проведен эксперимент по предварительному нагреву детектора до температур 200 °C, 250 °C и 300 °C и различным времени нагрева: 1, 5 и 10 минут.

Таким образом, значение индивидуального эквивалента дозы исследуемых термолюминесцентных дозиметрических систем, попадает в доверительный интервал референтных детекторов при значении температуры равной 200 °C и любом времени нагрева, а также при значении температуры 250 °C и времени нагрева 1, 5 и 10 минут. При значении температуры 300 °C, а также при любом времени нагрева рассчитанный индивидуальный эквивалент дозы находится вне доверительного интервала референтных значений.

Значение индивидуального эквивалента дозы от дозиметрических систем, находящегося вне доверительного интервала референтных значений можно трактовать как потерю информации. Степень потери информации будет рассчитываться по формуле:

$$k = 1 - \frac{H_{p_d}}{H_{p_p}} \quad (1)$$

где  $H_{p_d}$  – среднее значение ИЭД исследуемого детектора, мЗв;

$H_{p_p}$  – среднее значение ИЭД референтного детектора, мЗв.

Таким образом, степень потери информации для детекторов нагретых до 300 °C в течении 1 минуты  $k = 91,46$  %, нагретых до 300 °C в течении 5 минут  $k = 99,86$  %, нагретых до 300 °C в течении 10 минут  $k = 99,90$  %.

На рисунке 2 представлена зависимость потери информации с детектора от времени отжига при температуре 300 °C. для 1 мЗв.

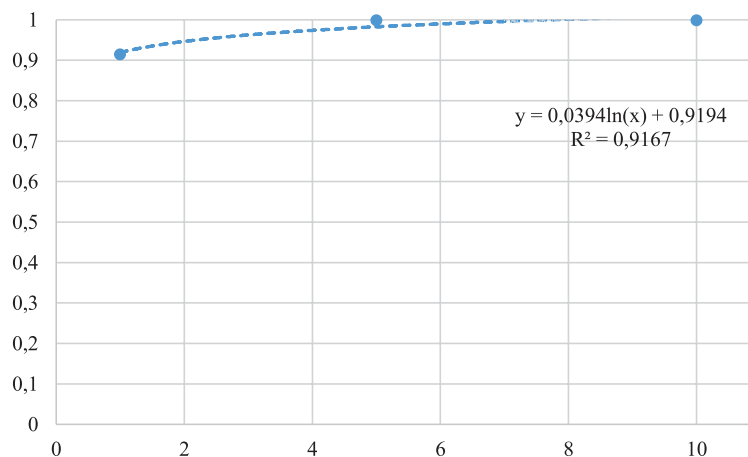


Рисунок 2 – Зависимость потери информации у детектора, отожжённого при температуре 300 °C

Из графика, представленного на рисунке 2, следует, что увеличение времени при определенной температуре, а, следовательно, увеличение средней температуры кристалла вызывает логарифмический рост потери информации с выходом на некоторую температуру, после которой потерю можно считать 100%. Этот уровень соответствует температуре 220°C, которая определяет глубину ловушки для электронов.

Для исследования влияния чувствительности отдельных детекторов была облучена кассета с 40 детекторами типа ДТГ-4, имеющие различную чувствительность в следствии видимых дефектов, дозой 1 мЗв. В результате измерений только у 25 % детекторов из выборки наблюдалась потеря информации, которая не превысила 50 % референтного значения. Исходя из полученных данных можно сделать вывод о возможном использовании малочувствительных детекторов при проведении ИДК при условии предварительной калибровки каждого отдельного детектора.

Для исследования влияния человеческого фактора был проведен ряд экспериментов, а именно: полное и частичное смещение детектора относительно фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), одновременный отжиг двух детекторов и неправильная обработка дозиметрического пика. В результате, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: при одновременном отжиге нескольких детекторов или при отжиге при изменённых условиях отжига, потеря информации детектором отсутствует, а для нахождения индивидуального эквивалента дозы необходимо сделать поправки на условия отжига; при изменении положения детектора на подложке относительно ФЭУ или неправильной обработке КТВ наблюдается потеря информации, однако установить зависимость между степенью потери информации и физическими факторами не представляется возможным. Данная проблема может быть решена при корректной работе с дозиметрическим термолюминесцентным комплексом «ДОЗА-ТЛД».

Важно отметить, что некорректное использование ТЛ-дозиметров также может оказать влияние на достоверную оценку индивидуального эквивалента дозы при проведении индивидуального дозиметрического контроля. Таким примером является не соблюдение [4], что относится к потере информации. В целом, человеческий фактор является одним из сложно контролируемых, а, следовательно, является тяжело предсказуемым и требует особого внимания и контроля.

Данное исследование степени потери информации позволило сделать ряд выводов, наиболее значимыми из которых являются:

- 1) степень потери информации зависит от температуры, до которой нагревается кристалл, и описывается логарифмической функцией;
- 2) непреднамеренный отжиг нескольких детекторов или изменения условий отжига не приводит к потере информации, однако требует введения поправочных коэффициентов;
- 3) изменение положения детектора на подложке относительно ФЭУ или неправильная обработка дозиметрического пика приводит к полной потере информации, во избежание данной проблемы требуется корректная работа с дозиметрическим термолюминесцентным комплексом;
- 4) не чувствительные детекторы в большинстве случаев не теряют информацию и могут быть использованы в практических целях после калибровки.

Таким образом, изучение влияния различных факторов на степень потери информации термолюминесцентных дозиметров имеет практическую значимость и может быть использована в качестве рекомендаций к использованию и хранению термолюминесцентных дозиметрических систем при проведении индивидуального дозиметрического контроля

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кротов, В.С. Твердотельная дозиметрия / В.С. Кротов, И.И. Мильман, С.В. Никифоров. – Екатеринбург: УрФУ, 2000.
2. Иванов, В.И. Курс дозиметрии: учеб. пособие/ В.И. Иванов. – 3-е изд. – Москва: Атомиздат, 1978.

3. МВИ. МН. 5099-2014. Методика измерений индивидуального эквивалента дозы фотонного излучения с использованием дозиметров из состава комплекса дозиметрического термoluminesцентного «Доза-ТЛД»: методика измерений / научно-производственное предприятие «Доза». – Минск, 2019. – 15 с.

4. Инструкция 2.6.1. 11-11-12-2003 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля в лечебно-профилактических учреждениях». – Минск, 2003. – 9 с.

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ДОЗИМЕТРА ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОЧНИКА НА МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ**

### **THE DEPENDENCE OF THE DOSIMETER READINGS ON THE POSITION RELATIVE TO THE SOURCE AT SHORT DISTANCES**

**В. В. Бондарь<sup>1,2</sup>, О. М. Хаджинова<sup>1,2</sup>**

**V. V. Bondar<sup>1,2</sup>, O. M. Khajynava<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
*nrs@iseu.by, vasilybondar58@gmail.com*

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

При контроле радиационной обстановки используется дозиметрическое оборудование, откалиброванное для определения операционной величины. Проводилась оценка мощности амбиентного эквивалента дозы от радионуклидных источников на различном расстоянии при падении излучения на торце или боковую поверхность детектора. Сравнение теоретических и экспериментальных значений показало занижение мощности амбиентного эквивалента дозы дозиметром-радиометром МКС-АТ1125 на малых расстояниях между источником и детектором. Показана необходимость учета геометрии измерений при радиационном контроле.

Radiation monitors for area monitoring purposes are calibrated in terms of operational quantities. The rate of the ambient dose equivalent from radionuclide sources at different distances was estimated when irradiating the end or side surfaces of the detector. A comparison of theoretical and experimental values showed an underestimation of the ambient dose equivalent by the radiation monitor AT1125 at short distances between the source and the detector. The necessity of taking into account the geometry of measurements during radiation monitoring is shown.

**Ключевые слова:** амбиентный эквивалент дозы, дозиметр, контроль радиационной обстановки.

**Keywords:** ambient dose equivalent, dosimeter, area monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-191-194>

Дозиметрические величины, используемые в радиационной защите в целях установления ограничения доз, называются нормируемыми. Для их оценки в ходе радиационного контроля предназначены операционные величины, которые максимально возможно приближены в стандартных условиях облучения к нормируемым величинам и предназначены для их консервативной оценки. Дозиметрическое оборудование делится на оборудование, предназначенное для индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) и контроля радиационной обстановки. При этом используются разные операционные величины – эквиваленты доз.

Для оценки эффективной дозы внешнего облучения в случае ИДК используется значение операционной величины – индивидуальный эквивалент дозы  $H_p(d)$ . Для контроля радиационной обстановки используется значение амбиентного эквивалента дозы  $H^*(d)$ . Параметр  $d$  определяет применение операционной для оценки нормируемой величины:

- при  $d=10$  мм величины  $H^*(10)$  и  $H_p(10)$  соответствуют эффективной дозе;
- при  $d=3$  мм величины  $H^*(3)$  и  $H_p(3)$  соответствуют эквивалентной дозе хрусталика глаза;
- при  $d=0.07$  мм величины  $H^*(0,07)$  и  $H_p(0,07)$  соответствуют эквивалентной дозе кожи [1].

Для контроля радиационной обстановки в случае сильнопроникающего излучения применяется операционная величина амбиентный эквивалент дозы  $H^*(10)$ . При этом используется концепция расширенного и выровненного поля, получаемый эквивалент не зависит от углового распределения поля излучения.

Для калибровки дозиметрического оборудования используются конверсионные коэффициенты, которые связывают значение мощности эквивалента дозы на определенной глубине  $d$  с мощностью кермы в воздухе в точке. Конверсионные коэффициенты зависят от вида ионизирующего излучения и его энергии. Соотношения между базовыми и операционными величинами, используемыми в радиационной защите при внешнем облучении, приведены в рекомендациях МКРЗ №74 [2]. Имеет место ограничение в том, что сфера МКРЕ не может быть создана и, соответственно, не существует возможности экспериментально проверить значения конверсионных коэффициентов. Приборы, используемые для измерения амбиентного эквивалента дозы, должны иметь изотропный отклик. Полученное с помощью откалиброванного дозиметра значение эквивалента дозы  $H^*(10)$  является консервативной оценкой эффективной дозы облучения для полей излучения, имеющих практическое значение.

В ходе эксперимента проводилась оценка мощности дозы от радионуклидных источников. Для проведения эксперимента был выбран дозиметр-радиометр МКС-АТ1125, основанный на использовании сцинтилляционного детектора NaI(Tl) размером 25×40 мм. Прибор предназначен для измерения амбиентного эквивалента дозы (10) в диапазоне от 30 нЗв/ч до 300 мкЗв/ч непрерывного рентгеновского и гамма-излучения с энергией от 50 кэВ до 3 МэВ.

Для измерений были выбраны источники Cs-137 и Co-60, параметры которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Параметры используемых радионуклидных источников*

| Изотоп     | Энергия, кэВ | Активность, Бк |
|------------|--------------|----------------|
| Co-60      | 1173,2       | 22403          |
|            | 1133,2       |                |
| Cs-137 (1) | 661,6        | 8787           |
| Cs-137 (2) |              | 8693           |
| Cs-137 (3) |              | 20838          |

Оценка мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) без учета ослабления и рассеяния излучения может быть произведена следующим образом:

$$\dot{H}^*(10) = \delta_H \dot{K}_a,$$

где  $\delta_H$  – конверсионный коэффициент, Зв/Гр [2],

$\dot{H}^*(10)$  – мощность амбиентного эквивалента дозы, на глубине 10 мм в шаровом фантоме МКРЕ, Зв/ч,

$\dot{K}_a$  – мощность кермы в воздухе, Гр/ч.

Мощность воздушной кермы на расстоянии  $r$  от точечного изотропного источника с активностью  $A$  может быть определена:

$$\dot{K}_a = \frac{A \Gamma_k}{r^2},$$

где  $A$  – активность, Бк,

$\dot{K}_a$  – мощность кермы в воздухе, Гр/ч,

$\Gamma_k$  – керма-постоянная, Гр·м<sup>2</sup>/(с·Бк),

$r$  – расстояние, м.

Теоретическое значение мощности амбиентного эквивалента дозы оценивалось для каждой энергетической линии. Проведен расчет значений МАЭД от совокупности радионуклидных источников Co-60 и трех источников Cs-137 на различном расстоянии  $r$  до детектора. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

*Теоретическое значение мощности амбиентного эквивалента дозы на разных расстояниях*

| Расстояние $r$ , м | МАЭД (10), нЗв/ч |
|--------------------|------------------|
| 0,1                | 1140             |
| 0,3                | 127              |
| 0,65               | 27               |
| 1,05               | 10               |

В ходе предварительных измерений было обнаружено несоответствие практических результатов рассчитанным выше значениям. Выдвинуто предположение, что это может связано с геометрией эксперимента: определением расстояния между источниками и детектором и направлением падения излучения на детектор, поскольку он имеет форму вытянутого цилиндра. Принимая во внимание то, что малые расстояния (до 1 м) между источником гамма-излучения и детектором требуют точного позиционирования средства измерения [3], был проведен следующий эксперимент.



Измерения проводились в двух геометриях расположения источников гамма-излучения относительно поверхности детектора: торцевая и боковая (схема приведена на рисунке 1). При этом расстояние  $r$  считалось в первом случае до поверхности защитного колпачка, во втором случае до геометрического центра сцинтилляционного детектора.

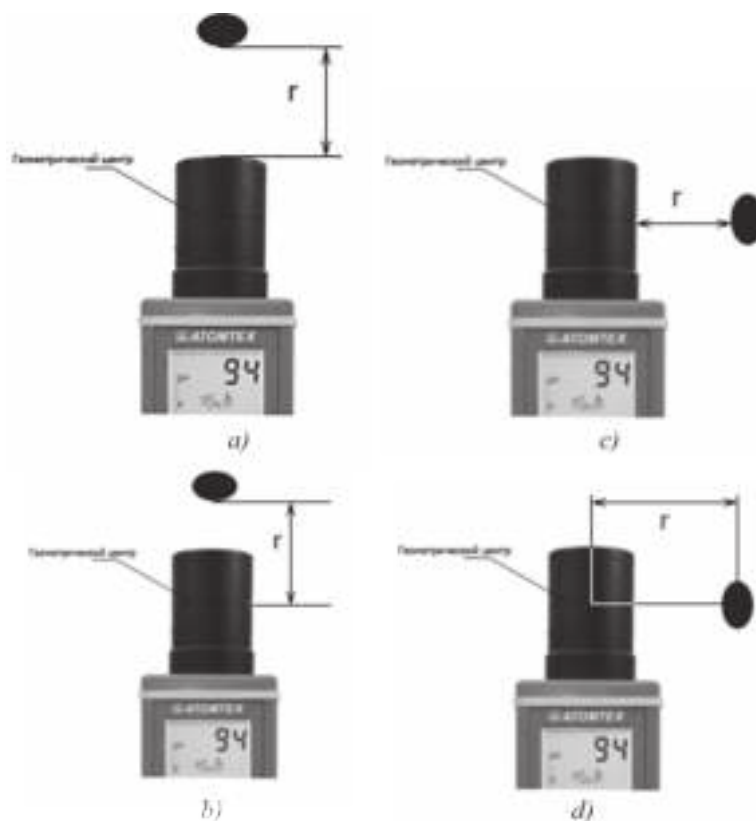


Рисунок 1 – Схема измерений

- a) облучение торцевой поверхности, расстояние  $r$  до поверхности защитного колпачка;
- b) облучение торцевой поверхности, расстояние  $r$  до геометрического центра детектора;
- c) облучение боковой поверхности, расстояние  $r$  до поверхности защитного колпачка;
- d) облучение боковой поверхности, расстояние  $r$  до геометрического центра детектора

Среднее значение фона гамма-излучения в ходе эксперимента составило 74 нЗв/ч. Измерения мощности дозы проводились до достижения относительной статистической погрешности 5 %. Результаты измерения мощности амбиентного эквивалента дозы на различных расстояниях от рассматриваемой совокупности радионуклидных источников приведены в таблице 3.

Таблица 3

МАЭД от радионуклидных источников в зависимости от расстояния, нЗв/ч

| Расстояние $r$ , м | Схема измерения |     |      |      |
|--------------------|-----------------|-----|------|------|
|                    | a               | b   | c    | d    |
| 0,1                | 614             | 717 | 1020 | 1260 |
| 0,3                | 159             | 174 | 180  | 197  |
| 0,65               | 94              | 98  | 96   | 97   |
| 1,05               | 82              | 83  | 82   | 83   |

Из полученных данных произвели вычитание значений фона и оценили доверительный интервал при доверительной вероятности 0,95, учитывая статистическую погрешность МАЭД (результаты приведены в таблице 4). При рассматриваемых уровнях мощности дозы существенный вклад вносит естественный радиационный фон и его вариации.

Для расстояний 0,1 и 0,3 м в схемах измерения a, b, c наблюдается расхождение с рассчитанными теоретически значениями, указанными в таблице 2. Далее рассчитали относительное отклонение экспериментальных значений от теоретических (таблица 5).

Таблица 4

*Границы доверительных интервалов для значений МАЭД  
от радионуклидных источников в зависимости от расстояния, нЗв/ч*

| Расстояние $r$ , м | Схема измерения |             |             |             |             |             |             |             |
|--------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | a               |             | b           |             | c           |             | d           |             |
|                    | -2 $\sigma$     | +2 $\sigma$ | -2 $\sigma$ | +2 $\sigma$ | -2 $\sigma$ | +2 $\sigma$ | -2 $\sigma$ | +2 $\sigma$ |
| 0,1                | 485             | 595         | 578         | 708         | 851         | 1040        | 1070        | 1310        |
| 0,3                | 74              | 96          | 88          | 112         | 93          | 119         | 109         | 137         |
| 0,65               | 12              | 28          | 16          | 32          | 14          | 30          | 15          | 31          |
| 1,05               | 1               | 15          | 2           | 17          | 1           | 15          | 2           | 17          |

Таблица 5

*Отклонение экспериментальных значений МАЭД относительно теоретических, %*

| Расстояние $r$ , м | Схема измерения |    |    |    |
|--------------------|-----------------|----|----|----|
|                    | a               | b  | c  | d  |
| 0,1                | 53              | 44 | 17 | 4  |
| 0,3                | 33              | 21 | 16 | 3  |
| 0,65               | 26              | 11 | 19 | 15 |
| 1,05               | 23              | 13 | 23 | 13 |

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в условиях малых расстояний между радионуклидным источником и детектором, дозиметр имеет пониженную чувствительность. Оценка расстояния между источником и детектором до геометрического центра является более верной. При облучении боковой поверхности получают более точные значения, вероятно, это связано с большей рабочей поверхностью детектора при такой геометрии.

Работа на малых расстояниях от точечного источника не позволяет получить параллельный и однородный поток гамма-излучения. Также для расстояний менее 1 м между радионуклидным источником и неорганическим сцинтиллятором следует учитывать положение эффективного центра энергосвидетельствования, которое зависит от энергии излучения [3].

Следует отметить, что данный тип дозиметра используется во многих областях деятельности, где требуется контроль радиационной обстановки или для поиска источников ионизирующего излучения. Например, при радиационном контроле металлолома. В этом случае задачами радиационного контроля является: обнаружение превышения мощности дозы гамма-излучения вблизи поверхности партии над природным фоном более чем на 0,05 мкЗв/ч, выявление в партии локальных источников, создающих МАЭД на расстоянии 0,1 м от поверхности партии более 0,2 мкЗв/ч, выявление в партии локальных источников, создающих мощность дозы на расстоянии 10 см более 1 мкЗв/ч [4]. Однако экспериментальные данные свидетельствуют о том, что показания дозиметра в данном диапазоне мощностей дозы будут занижены при использовании данного средства измерения. В случае их использования дозиметров подобного типа (МКС-АТ1125) для определений МАЭД от радионуклидных источников на малых расстояниях следует учитывать полученный эффект. Методики выполнения измерений должны включать требование по позиционированию вытянутого детектора относительно анализируемой поверхности при работе на малых расстояниях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной защите / МКРЗ. – М. : ФМБЦ имени А. И. Бурназяна, ФМБА РОССИИ, 2009. – 343 с.
2. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation: ICRP Publication 74 / International Commission on Radiological Protection (ICRP) // Annals of the ICRP. – PERGAMON, 1996. – Vol. 26. – 224 p.
3. Лукашевич, Р.В. Расчет положения эффективного центра энергосвидетельствования сцинтилляционных детекторов для задач калибровки при малых расстояниях «источник – детектор» / Р.В. Лукашевич, Г.А. Фоков // Приборы и методы измерений. – 2021. – Т.12, № 3. – С. 239-248.
4. Санитарные нормы «Требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома»: СанПиН от 11.03.2016 № 24. : введ. 24.03.2003. – Минск : Министерство здравоохранения Респ. Беларусь, 2016. – 40 с.

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ТВЭЛОВ ПО АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ Хе ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

## APPLICATION OF THE TECHNIQUE FOR DETECTION OF DAMAGE OF FUEL ELEMENTS BY RADIONUCLIDE ACTIVITY Xe DURING OPERATION OF THE VVER-1200 REACTOR OF THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

**Э. Б. Семиренко<sup>1</sup>, Н. А. Долголевич<sup>1</sup>,  
А. А. Пунтус<sup>1</sup>, А. И. Киевицкая<sup>2,3</sup>, Т. В. Дашкевич<sup>2,3</sup>  
E. B. Semirenko<sup>1</sup>, M. A. Dalhalevich<sup>1</sup>, A. A. Puntus<sup>1</sup>,  
A. I. Kiyavitskaya<sup>2,3</sup>, T. V. Dashkevich<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие «Белорусская атомная электростанция»

(Государственное предприятие «Белорусская АЭС»)

площадка строительства атомной электростанции, г. Островец, Республика Беларусь

dolgolevich.na@belaes.by, puntus.aa@belaes.by

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь

nrs@iseu.by, hannakiev@gmail.com, dashkevich.tv@gmail.com

<sup>1</sup>Republican Unitary Enterprise “Belarusian Nuclear Power Plant”, Belarusian NPP

nuclear power plant construction site, Ostrovets, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, Republic of Belarus

Правилами ядерной безопасности устанавливается предел безопасной эксплуатации по количеству негерметичных твэлов. Не превышение данного предела обеспечивается путём контроля герметичности оболочек твэлов на работающей и остановленной реакторной установке. В настоящее время в Российской Федерации ведутся работы по разработке и внедрению новых методов в дополнение к существующим методам контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов на работающей реакторной установке типа ВВЭР. Для своевременного выявления факта появления дефектного твэла в топливной загрузке предлагается внедрение метода выявления разгерметизации твэлов по соотношению активностей изотопов Хе в теплоносителе первого контура во время работы реакторной установки, предложенного АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» (Российская Федерация).

It is known that the nuclear safety rules set the limit of safe operation in terms of the number of leaking fuel elements. Compliance with this limit is ensured by monitoring the tightness of fuel rod claddings at the operating and shutdown reactor plant. Currently, new methods are being developed and implemented in addition to the already generally accepted methods for monitoring the tightness of fuel element claddings at an operating VVER type reactor plant. For the most rapid detection of the fact of the appearance of a defective fuel element in the fuel load, it is proposed to introduce a “method for detecting depressurization of fuel elements by the activity of Xe radionuclides in the primary coolant during operation of the reactor plant” proposed by the Joint-Stock Company “State Scientific Center of the Russian Federation Troitsk Institute for Innovation and Thermonuclear Research”.

**Ключевые слова:** Белорусская АЭС, контроль герметичности оболочек, тепловыделяющий элемент (твэл), теплоноситель, активность, нормированная активность, приведенная активность.

**Keywords:** Belarusian NPP, cladding tightness control, fuel element (tvel), coolant, activity, normalized activity, reduced activity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-195-198>

Применяемый на Белорусской АЭС метод контроля герметичности оболочек на работающей реакторной установке заключается в измерении удельной активности реперных радионуклидов йода  $I^{131-135}$  в теплоносителе первого контура. Полученные значения удельной активности сопоставляются с эксплуатационными и безопасными пределами. Также проводится регистрация наличия (или отсутствия) «spike-эффекта» – рост удельной активности

$I^{131}$  в 5 и более раз при изменении мощности на 20% и более. Регистрация «spike-эффекта» свидетельствует о наличии негерметичных твэлов в составе эксплуатируемой топливной загрузки. Дополнительно для определения разгерметизации в стационарном режиме работы реакторов ВВЭР используется соотношение нормированных активностей  $I^{131}$  и  $I^{134}$ . В случае если был зарегистрирован «spike-эффект» при переходных процессах и (или) соотношение нормированных активностей  $I_n^{131}/I_n^{134}$  более 5 при работе реактора в стационарном режиме, то в топливной загрузке присутствуют негерметичные твэлы.

Однако на основе величины активности изотопов йода не всегда можно однозначно определить факт разгерметизации. Такая ситуация может возникать при появлении микродефекта в оболочке твэла или при повышенном выгорании топлива, если дефект перекрывается поверхностью топливной таблетки. В этом случае основной вклад в фоновую активность изотопов йода могут вносить топливные отложения с поверхностей твэлов или конструкций активной зоны, и разгерметизацию сложно выявить [1].

Для более оперативного определения фактов разгерметизации на реакторах типа PWR применяют метод, основанный на анализе активностей инертных радиоактивных газов (далее ИРГ). ИРГ имеют высокую миграционную способность из топливной матрицы, а также не взаимодействуют с внутренней оболочкой твэла в отличие от поверхностно активных изотопов йода. На рисунке 1 представлен график зависимости роста активности  $I^{131}$  и  $He^{133}$  от коэффициента массообмена, который, в свою очередь, зависит от размера дефекта. Значительная часть радионуклидов йода адсорбируется на внутренней поверхности оболочки твэла, выход радионуклидов йода в теплоноситель при прочих равных условиях оказывается меньше выхода ИРГ. Выход ИРГ из твэла может быть значительным даже при микродефекте, при котором поступление теплоносителя (необходимого для растворения йодных отложений с внутренней поверхности оболочки и их массоперенос в область дефекта) под оболочку твэла ограничено [1].

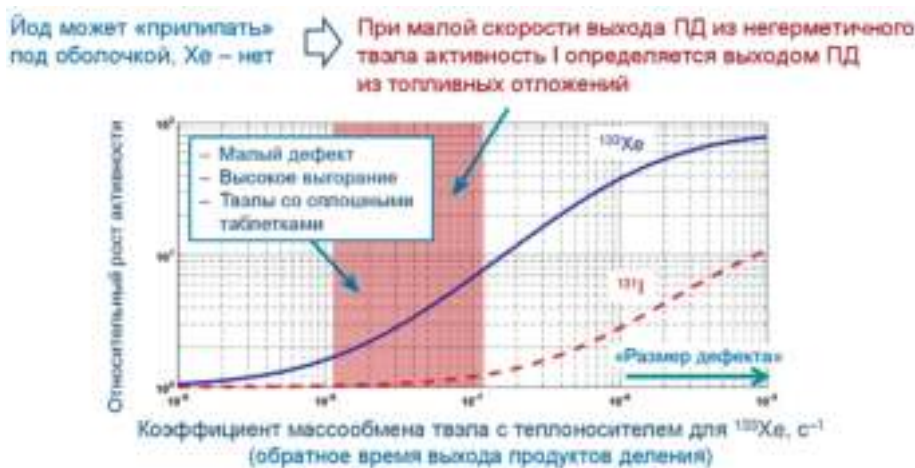


Рисунок 1 – График зависимости роста активности  $I^{131}$  и  $He^{133}$  в теплоносителе от коэффициента массообмена [2]

Для эффективного выявления разгерметизации возможно использовать соотношение активностей ИРГ, обладающих следующими свойствами [1]:

- период полураспада ИРГ должен существенно различаться. В таком случае значительная часть более короткоживущего газа будет распадаться, не успевая выйти из негерметичного твэла, в то время как активность более долгоживущего газа будет заметно расти в теплоносителе после разгерметизации;
- кумулятивные выходы ИРГ должны слабо зависеть от нуклидного состава топлива. Поскольку выгорание топлива в отложениях обычно неизвестно, использование радионуклидов с сильной зависимостью кумулятивного выхода от нуклидного состава топлива может приводить к большим неопределенностям. В частности, по этой причине  $Kr^{85m}$  и  $Kr^{88}$  для анализа не подходят;
- выбранные радионуклиды должны быть изотопами одного химического элемента. В процессе пробоотбора часть газов, растворенных в теплоносителе, переходит в газовую фазу и теряется. Поскольку растворимости газов отличаются, газопотери при пробоотборе варьируются для изотопов разных химических элементов.

Среди ИРГ, активности которых доступны для измерения на Белорусской АЭС, этим условиям удовлетворяет пара  $He^{133}$  и  $He^{135}$ .

Методику выявления фактов появления дефектных твэл можно сформулировать в следующем виде:

- 1) определение удельной активности  $He^{133,135}$  в теплоносителе первого контура без учёта газовых потерь;
- 2) определение скорости очистки теплоносителя первого контура от ИРГ за счёт работы деаэратора (в случае если определить скорость очистки не удаётся, то предлагается использовать консервативное значение равное 0);
- 3) приведение измеренных удельных активностей  $He^{133,135}$  к значению с учётом газоочистки первого контура;
- 4) сопоставление соотношения приведенных активностей  $He_n^{133}/He_n^{135}$  с универсальным консервативным пороговым критерием для реакторов ВВЭР-1000,1200 равным 2,4...2,5 [2].

На Белорусской АЭС измерение удельной активности реперных радионуклидов  $I^{131-135}$ , а также ИРГ  $Xe^{133,135}$  проводится лабораторией контроля герметичности оболочек отдела ядерной безопасности. Отбор проб теплоносителя производится из штатной системы отбора проб, газопотери не контролируются. Объём отбираемых проб равен 100...250 мл. После отбора пробы готовится счётный образец определенной геометрии (цилиндрический сосуд 500 мл) в который добавляется 470 мл химически обессоленной воды и 30 мл аликвоты пробы теплоносителя, заранее отфильтрованной через бумажный фильтр.

Измерение удельной активности реперных радионуклидов осуществляется с помощью полупроводникового гамма-спектрометра с детектором из особо чистого германия Canberra GC1018 с относительной эффективностью 10% и ПШПВ для энергии 122 кэВ и 1,3 МэВ 0,825 и 1,8 кэВ соответственно. Эффективность регистрации для используемой геометрии измерения была рассчитана с помощью метрологического образцового радионуклидного раствора. Подготовленный счётный образец измеряется в течение 1 часа по живому времени, до начала измерения счётный образец выдерживается 30 минут. Также для расчёта удельной активности  $Xe^{133,135}$  в программном обеспечении Genie-2000 применяется учёт цепочек распада «материнский-дочерний», так как для этих радионуклидов в теплоносителе всегда фиксируется материнские нуклиды  $I^{133,135}$ .

Расчет скорости очистки теплоносителя от изотопов  $Xe^{133}$  и  $Xe^{135}$  производится по формуле (1) [1].

$$\eta_{Xe} = \frac{Q}{M} \left( 1 - \frac{A_{Xe}^2}{A_{Xe}^1} \right) \quad (1)$$

где  $Q$  – массовый расход воды на ионообменные фильтры и деаэратор (30 т/ч);

$M$  – масса воды, циркулирующей в первом контуре (214 т);

$A_{Xe}^1, A_{Xe}^2$  – удельная активность радионуклида ксенона до и после деаэратора соответственно.

Полученное значение скорости очистки  $\eta$  на энергоблоке №1 Белорусской АЭС для  $Xe^{133,135}$  составляет 0,139 ч<sup>-1</sup>.

Расчёт приведенной удельной активности  $Xe^{133,135}$  в теплоносителе первого контура производился по формулам [1]:

$$A_{133Xe}^* = A_{133Xe} \left( 1 + \frac{\eta_{Xe}}{\lambda_{133Xe}} \right) \quad (2)$$

$$A_{135Xe}^* = A_{135Xe} \left( 1 + \frac{\eta_{Xe}}{\lambda_{135Xe}} \right) \quad (3)$$

где  $A_{133Xe}, A_{135Xe}$  – измеренная удельная активность  $Xe^{133}, Xe^{135}$ ;

$A_{133Xe}^*, A_{135Xe}^*$  – приведенная удельная активность  $Xe^{133}, Xe^{135}$ .

На рисунках 2 и 3 представлена динамика удельной активности реперных радионуклидов  $I^{131-135}$  и их суммарная активность во время работы реакторной установки энергоблока №1 Белорусской АЭС, а также мощность реакторной установки и соотношения нормированной активности  $I_n^{131-133,135}$  к  $I_n^{134}$  соответственно. На рисунке 4 представлена динамика соотношения приведенной удельной активности  $Xe^{133}$  к  $Xe^{135}$ .

Исходя из рисунков 2-4 после выхода реакторной установки на МКУ и достижения номинального уровня мощности в течение 7 суток основной вклад в поступление радионуклидов в теплоноситель первого контура вносили топливные отложения с поверхностей активной зоны. Наибольшее значение удельной активности реперных радионуклидов формировалось изотопом  $I^{134}$ , а удельные активности  $I^{131}, Xe^{133}$  были меньше или находились на уровне минимально детектируемой активности. Соотношения нормированных активностей  $I^{131}$  к  $I^{134}$  были менее 5, что также указывало на то, что остаточное топливное загрязнение на поверхностях конструкций активной зоны вносило основной вклад в загрязнение и соответственно отсутствовали негерметичные твэлы.



Рисунок 2 – Удельные активности (вертикальная ось слева, Ки/кг) радионуклидов йода в теплоносителе первого контура и тепловая мощность РУ (RP, вертикальная ось справа, МВт)

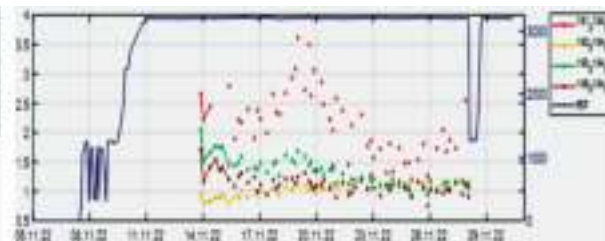


Рисунок 3 – Соотношение нормированных удельных активностей радионуклидов йода при стационарной работе РУ (вертикальная ось слева) и тепловая мощность РУ (RP, вертикальная ось справа, МВт)



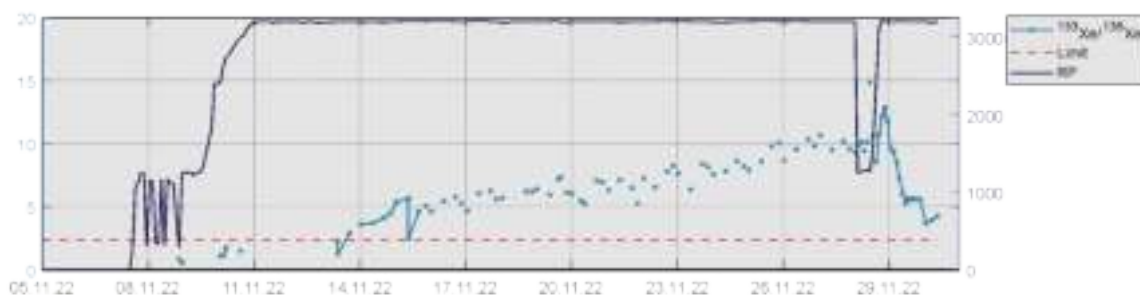


Рисунок 4 – Отношение приведенных удельных активностей  $Xe^{133}$  и  $Xe^{135}$  в теплоносителе 1-го контура (вертикальная ось слева) и тепловая мощность РУ (RP, вертикальная ось справа, МВт).  
 — — — — — пороговое значение, превышение которого свидетельствует о наличии негерметичного твэла в реакторе

Через 4 суток работы реактора на номинальном уровне мощности в прямых пробах теплоносителя начал стабильно регистрироваться  $Xe^{133}$ , повысилась активность  $Xe^{135}$ , отношение приведенных активностей  $Xe^{133}$  и  $Xe^{135}$  при этом превысило пороговое значение 2.5 (рисунок 4). Превышение порога свидетельствует о наличии дополнительного источника продуктов деления в теплоносителе помимо топливных отложений. Анализ активности радионуклидов  $Xe^{133}$  и  $Xe^{135}$  позволил сделать предварительный вывод о наличии негерметичного твэла в составе эксплуатируемой топливной загрузки.

В то же время, не было зафиксировано каких-либо значительных изменений в активности изотопов йода, значение отношения нормированной активности  $I^{131}$  и  $I^{134}$  были меньше 5 (рисунок 3), что не позволяло делать вывод о факте разгерметизации твэла, в отличие от «газовой методики».

Через 17 суток после вывода реакторной установки на номинальный уровень мощности было зафиксировано снижение тепловой мощности со 100 % до 39 %. После сброса мощности был зарегистрирован «Spike-эффект» по активности  $I^{131}$ . Пиковая активность  $I^{131}$  составила  $\sim 3 \cdot 10^{-7}$  Ки/кг (рисунок 2). «Spike-эффект» является надежным показателем наличия негерметичного твэла в активной зоне. Таким образом, «йодная методика» подтвердила, что в топливной загрузке однозначно находится негерметичный твэл.

Исходя из полученных данных метод, основанный на измерении активности изотопов  $Xe^{133,135}$  однозначно позволил выявить факт разгерметизации тепловыделяющего элемента на 14 суток раньше, чем основной «йодный метод». Методика выявления разгерметизации твэл по активности изотопов Хе в теплоносителе первого контура требует проведения дополнительных исследований, чтобы использоваться в качестве еще одного идентификационного метода обнаружения разгерметизации в дополнение к уже действующей «йодной методике» для своевременного выявления факта появления дефектного твэла в топливной загрузке реактора ВВЭР-1200.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калиничев П. М., Евдокимов И. А., Лиханский В. В. Методика выявления разгерметизации твэлов по активности радионуклидов Хе во время работы реакторов ВВЭР. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2018. – № 2. – С. 101–113. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2018.2.10>.
2. Евдокимов И.А. Комплексная методика и программное средство для оперативного выявления разгерметизации твэлов во время работы реактора [электронный ресурс] / И. А. Евдокимов, П. М. Калиничев, А. Г. Хромов, Е. Ю. Афанасьев, Л. А. Маслов, И. О. Горюшин, А. Ю. Бурцев, С. П. Золотарёв, С. В. Бабкин // Совещание в рамках проекта НУО: «Проведение КГО твэлов на работающем и остановленном реакторе». – 2022. – Режим доступа: <https://ppt-online.org/1261358>. – Дата доступа: 05.01.2023.

# **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

# СО-ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ

## CO-TECHNOLOGY OF FUEL COMBUSTION ON GAS-OIL BOILERS

**В. И. Назаров<sup>1,2</sup>**

**V. I. Nazarov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
et@iseu.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Сжигание газомазутного топлива в котлах с регулирующим химнедожогом в балансовом сечении является перспективной энергосберегающей и экологической технологией, которая при минимальных капитальных вложениях имеет высокую эффективность (снижение выбросов оксидов азота 25–30 % и повышение КПД котла до 0,6 %). Данная технология легко реализуется на микропроцессорных регуляторах.

The combustion of gas and oil fuel in boilers with regulating chemical combustion in the balance section is a promising energy-saving and environmental technology that, with minimal capital investment, has high efficiency (reducing nitrogen oxide emissions by 25–30 % and increasing boiler efficiency to 0,6 %). This technology is easily implemented on microprocessor controllers.

*Ключевые слова:* котлоагрегаты, газомазутное топливо, регулируемый химнедожог, КПД котла, окислы азота, оксид углерода.

*Keywords:* boiler unit, gas and oil fuel, adjustable chemical burr, boiler efficiency, NO<sub>x</sub>, CO.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-200-203>

СО-технология сжигания газомазутного топлива на промышленных и энергетических котлах является перспективной энергосберегающей и экономичной технологией, которая при минимальных капитальных вложениях имеет высокую эффективность. Данная технология позволяет добиться экологического эффекта (снижение выбросов оксидов азота на 25-30%) при повышении КПД котлоагрегата.

Сущность СО-технологии заключается в поддержании в режимном сечении котла химического недожога на уровне 150-200 ppm СО путем регулирования расхода общего воздуха, подаваемого в топку котла. Для этого на котлоагрегатах устанавливается автоматическая система регулирования расхода общего воздуха (АСР РОВ), но не со стандартной коррекцией по кислороду (O<sub>2</sub>), а с коррекцией по химнедожогу, приведенного к оксиду углерода (СО).

Стандартная схема АСР РОВ имеет ряд недостатков. При появлении присосов, а также при нарушениях равномерной подачи воздуха и топлива критическое значение избыточного воздуха повышаются, в связи с этим изменяется оптимальное значение его избытка, что может привести к снижению КПД котлоагрегата. Так повышение присосов воздуха на 10 %, которые не участвуют в процессе сжигания топлива, приводят к повышению концентрации O<sub>2</sub> в режимном сечении на 2 % об и приводят к существенному снижению расхода воздуха в топку и, как следствие, к появлению значительного химического недожога топлива.

Химический недожог на газомазутных котлах появляется при избытке воздуха в топке  $\alpha_t < \alpha_{кр}$ . При чем оптимальный избыток воздуха в топке  $\alpha_{опт}$  практически совпадает с  $\alpha_{кр}$ . Поэтому процесс регулирования подачи воздуха нужно вести с максимально возможным приближением к  $\alpha_{кр}$  слева, то есть с определенной концентрацией оксида углерода в режимном сечении.

Данная технология, сжигания газомазутного топлива с регулируемым остаточным химическим недожогом в режимном сечении, позволяет добиться оптимального КПД котла с экологическим эффектом. В этом случае происходит снижение суммарной токсичности выбросов оксидов азота и оксида углерода (наиболее токсичным является оксид азота). На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость концентрации NO<sub>x</sub> от концентрации СО в котле БКЗ-75-39 [1].

При поддержании в режимном сечении котла остаточного химнедожога (по СО=160 ppm) для котла БКЗ-75-39, снижение выбросов NO<sub>x</sub> составило 35 %, а повышение КПД составила 0,6 % при  $\alpha_t = 1,2$  [1].

Автоматическая система, регулирующая данную технологию, приведена на рис. 2.

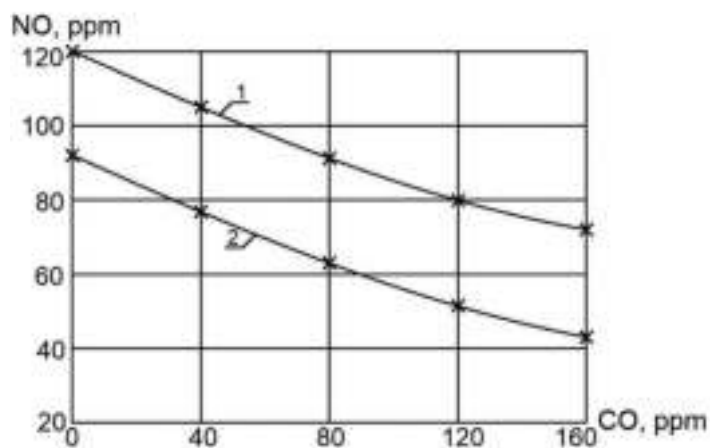


Рисунок 1 – Зависимость концентрации NOx от концентрации CO в котле БКЗ-75-39. 1 -  $D_n = 76$  м/ч; 2 -  $D_n = 61$  м/ч

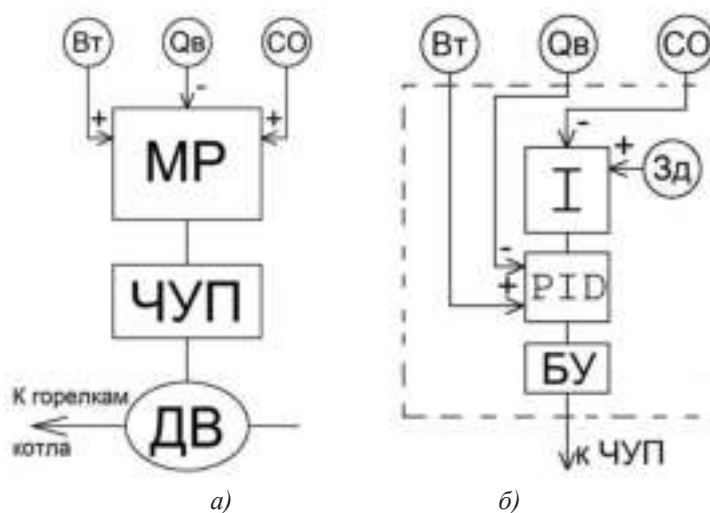


Рисунок 2 – АСР РОВ с регулируемым химнедожогом, где  
 а – структурная схема; б – функциональная блок-схема;  $V_m, Q_v, CO$  – сигналы по расходу топлива, воздуха и концентрации CO; МР – микропроцессорный регулятор; ЧУП – частотный управляемый привод; ДВ – дутьевой вентилятор; I – интегральный закон регулирования;  
 PID – пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования; ЗД – задатчик;  
 БУ – блок управления, интегрированный в микропроцессорный регулятор

Для приведенной автоматической системы регулирования важным является выбор прибора газового анализа, который должен обладать высокой степенью чувствительности. Такое требование объясняется тем, что измеряемая концентрация оксида углерода при регулируемом недожоге в режимном сечении обычно лежит в пределах 50-200 ppm. Такой диапазон измерения объясняется различием в конструкции котлоагрегатов, особенно их горелочных аппаратов.

АСР РОВ с регулируемым химнедожогом является двухконтурной каскадной системой регулирования, содержащей стабилизирующий регулятор (PID - пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования) и корректирующий регулятор (I – интегральный закон регулирования). Для стабилизирующего регулятора объектом регулирования является участок воздушного тракта от дутьевого вентилятора до места измерения расхода воздуха. Этот участок мало информативный: запаздывание 2...5с, а постоянная времени 10...15с.

Для корректирующего регулятора объектом регулирования является участок, включающий замкнутую АСР стабилизации расхода воздуха и участок регулирования CO при возмущении расходом воздуха. Этот участок инерционный: запаздывание 15...25с, а постоянная времени 50...70с.

Для повышения точности поддержания концентрации оксида углерода в режимном сечении котла необходимо с приемлемой точностью измерять расход общего воздуха. Типовые средства измерения не подойдут для определения расхода воздуха. Среди существующих способов наиболее распространен способ измерения расхода воздуха по перепаду давлений воздухоподогревателя или его первой ступени, хотя при малых расходах воздуха перепад давлений становится соизмерим со значением пульсаций. Причем при измерении общего перепада давлений на воздухоподогревателе в нем не учитывается рециркуляция воздуха и отбор слабо подогретого воздуха.

При неудовлетворительных результатах измерения расхода воздуха по перепаду давлений на воздухоподогревателе необходимо использовать сигнал по давлению воздуха на выходе дутьевого вентилятора, хотя здесь тоже имеет место быть неточность измерений при перераспределении воздушных потоков при включении-отключении горелок. И в этом случае необходимо проводить экспериментальный выбор места установки отборных устройств.

Экспериментально было установлено, что приемлемую точность измерения расхода воздуха дает усовершенствование расходомера типа Анньюбар, которые должны устанавливаться на всю высоту воздухопровода. При этом мы имеем достаточный перепад давлений  $\Delta P = P_{\text{п}} - P_{\text{с}}$ , где  $P_{\text{п}}$  – полное давление потока,  $P_{\text{с}}$  – статическое давление потока.

Часто для определения концентрации оксида углерода в режимном сечении котла используются термохимические газоанализаторы, преимуществом которых является погружное газоотборное устройство. С другой стороны, эти газоанализаторы имеют ряд дополнительных погрешностей, которые приводят к некорректным измерениям оксидов углерода. К этим погрешностям в первую очередь относятся [2]:

- погрешность измерения концентрации CO от температуры в зоне чувствительности элемента, таблица 2.

Таблица 2

|                                   |        |        |       |       |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| $\Delta \text{CO}, \% \text{ об}$ | 0,0095 | 0,0085 | 0,006 | 0,002 |
| $t, ^\circ \text{C}$              | 100    | 150    | 200   | 250   |

- погрешность измерения концентрации CO от изменения коэффициента теплопроводности газовой смеси, таблица 3.

Таблица 3

|                                               |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta \text{CO}, \% \text{ об}$             | 0,004 | 0,008 | 0,012 | 0,017 |
| $\Delta \lambda \cdot 10^{-3}, \text{ в./мс}$ | 2     | 4     | 6     | 8     |

- погрешность измерения концентрации CO от угла разворота датчика при установке в газоходе котла, таблица 4.

Таблица 4

|                                   |                       |       |      |       |
|-----------------------------------|-----------------------|-------|------|-------|
| $\Delta \text{CO}, \% \text{ об}$ | 0                     | 0,065 | 0,06 | 0,005 |
| $\varphi, ^\circ$                 | 0 (базовая установка) | 90    | 180  | 270   |

При монтаже и наладке системы регулирования с контролируемым химнедожогом необходимо учитывать следующее:

- наличие присосов воздуха непосредственно влияет на погрешность измерения оксида углерода, заборный зонд газоанализатора должен находиться от пристенной зоны на расстоянии не менее 1/3 диагонали режимного сечения котлоагрегата;

- для поддержания концентрации оксида углерода в режимном сечении на уровне 100-200 ppm необходимо осуществлять частотное регулирование производительности дутьевых вентиляторов. Применяемое в настоящее время регулирование расхода воздуха направляющими аппаратами не позволяет в полной мере реализовать преимущества АСР с контролируемым химнедожогом.

Необходимо отметить, что основной особенностью работы энергетических газомазутных котлов с малыми избытками воздуха является необходимость очень точного поддержания избытков воздуха не только по котлу в целом, но и по отдельным горелкам. Требования к равномерности распределения топлива и воздуха по горелкам достаточно высоки, например, при сжигании мазута с избытками воздуха 2–3 % в конце топки отклонение избытка воздуха в отдельные горелки от среднего по горелкам не должно превышать  $\pm 5 \%$ , а для энергетических котлов большой мощности эти требования еще выше. Такие котлы должны эксплуатироваться с допустимыми отклонениями подачи мазута в каждую горелку  $\pm 1 \%$  (от среднего значения), а расходов воздуха  $\pm 3 \%$ .

Способ достижения равномерности распределения топлива и воздуха по горелкам существенно влияет на выбор системы автоматического регулирования в целом и системы погорелочного регулирования. То есть, система регулирования расхода общего воздуха с регулируемым химнедожогом должна быть двухступенчатой. При такой структуре верхний уровень системы регулирует общий расход воздуха на котел, а нижний уровень распределяет поступающий воздух равномерно по горелкам. Но такая структура регулирования становится статически не определенной (при заданном расходе общего воздуха, частота вращения дутьевых вентиляторов и положения индивидуальных заслонок горелок является произвольной). Чтобы избежать этого, необходимо подавать сигнал по оксиду углерода не только на основной регулятор, но и подавать его на индивидуальные регуляторы, обеспечивающие погорелочное регулирование.



В этом случае подача на общий регулятор и на индивидуальные регуляторы сигнала по оксиду углерода позволяет предотвратить срабатывание индивидуальных регуляторов в случае изменения концентрации оксида углерода (при правильной настройке отклонения сигнала по расходу воздуха к горелке, вызванное изменением расхода общего воздуха, должно компенсироваться отклонением корректирующего сигнала по оксиду углерода). Надо отметить, что для повышения эффективности системы регулирования необходимо, чтобы погорелочные регуляторы работали в режиме периодического кратковременного включения для корректировки положения воздушных шиберов горелок. Такая схема регулирования нечувствительна к пульсациям, связанным с неравномерным забиванием регенеративных воздухоподогревателей.

Если процесс горения происходит при достаточно малых избытках воздуха без образования химнедожога, регулирование подачи воздуха в топку осуществляется только регулятором общего воздуха, воздействующим на частотный управляемый привод дутьевых вентиляторов. При появлении оксида углерода в режимном сечении котла в работу включаются регуляторы, осуществляющие погорелочное регулирование. Это позволит поддерживать концентрацию оксида углерода на уровне 100–200 ppm.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, В.И. Определение экспериментальной зоны регулируемого химнедожога / В.И. Назаров, В.Т. Малафей // Энергетика - Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – № 6. – С. 70–73.
2. Назаров, В.И. К вопросу погрешности измерения концентрации оксида углерода термохимическими сенсорами / В.И. Назаров // Энергетика - Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2007. – . – № 2. – С. 74–79.

## ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ЛЕВИТАЦИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НЕСВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КАТУШКИ RESEARCH OF THE LEVITATION CONDITIONS OF A PERMANENT MAGNET IN A MAGNETIC FIELD OF A NON-SUPERCONDUCTING COIL

***В. С. Пожидаев, М. А. Лобосов, Ю. Г. Миханова***  
***V. S. Pozhidaev, M. A. Lobosov, Yu. G. Mikhanova***

*Государственное учреждение образования «Гимназия №22 г. Минска», г. Минск, Республика Беларусь*  
*«Gymnasium №22, Minsk», Minsk, The Republic of Belarus*

В настоящее время транспорт движется с максимально большой возможной скоростью, выделяя при этом вредные для атмосферы вещества. Нами был создан и исследован способ осуществления левитации постоянного магнита без использования сверхпроводника. Исследования показали возможность увеличения параметров установки до необходимых масштабов, температурную нестабильность представленной установки и оптимальное время работы до десяти минут.

Currently, transport is moving at maximum possible speed, emitting harmful substances into the atmosphere. We have created and researched a method of levitation of a permanent magnet without the use of a superconductor. Our research has shown the ability to enlarge our device to the required scale, thermal instability of the device and the optimal operating time of ten minutes.

*Ключевые слова:* левитация, сверхпроводимость, катушка индуктивности, стабилизация.

*Keywords:* levitation, superconductivity, inductance coil, stabilization.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-203-206>

Магнитное давление используется для компенсации ускорения свободного падения или любых других ускорений. Магнитная левитация используется в маглевах, магнитных подшипниках и показе продукции. В настоящее время транспорт движется с максимально большой доступной скоростью, выделяя при этом вредные для атмосферы вещества. Существующие материалы практически достигли пределов износостойкости. Поэтому современные ученые ищут пути улучшения данных параметров, повышения коэффициента полезного действия и уменьшения износа систем.

В литературе описаны исследования левитации в магнитном поле катушки, находящейся в сверхпроводящем состоянии. Посредством левитации в магнитном поле может быть достигнут минимальный износ материалов и, как следствие, больший срок службы изделий и уменьшение рисков для экологии.

В основе исследования лежит эффект левитации, проявляющийся при взаимодействии сверхпроводника, находящегося в не смешанном состоянии и постоянного магнита. Если сверхпроводник поместить в магнитное поле и охладить до сверхпроводящей температуры, то будет наблюдаться левитация сверхпроводника над телом постоянного магнита. Данный эффект обусловлен возникновением незатухающих токов на дефектах решетки сверхпроводника, которые препятствуют изменению положения магнита. Для осуществления левитации в поле несверхпроводящей катушки мы использовали схему стабилизации потока в катушке.

Мы предположили возможность левитации постоянного магнита в магнитном поле несверхпроводящей катушки. Один из способов решения этой задачи представлен в данном исследовании.

Цель работы: создать рабочую схему стабилизации магнитного поля катушки для левитации магнита в нем.

Объектом исследования является поведение магнита в магнитном поле несверхпроводящей катушке. Предметом исследования - условия левитации постоянного магнита в стабилизированном поле катушки.

В работе использовалось следующее оборудование: медная проволока, катушка без намотки, источник тока, макетная плата, резисторы, потенциометр, соединительные провода, постоянный магнит, мультиметр.

Сборка установки была произведена согласно схеме, представленной статьей в журнале 'Техническая физика'. После проведения тестирования данной схемы, была установлена невозможность точной балансировки моста потенциометром  $r_2$  с номиналом 53 Ом, который впоследствии был заменен двумя резисторами с номиналом 52 Ом (постоянный резистор) и 2 Ом (переменный резистор). Потенциометр номиналом 2 Ом был изготовлен самостоятельно из вольфрамовой проволоки и установлен на стенд. После проведения экспериментов на модернизированном стенде было выяснено, что время левитации магнита не более 30 секунд. Исходя из этой информации, мы предположили, что параметры катушки были подобраны неверно. Была изготовлена вторая катушка с сопротивлением 36 Ом. После испытаний выяснилось, что время левитации увеличилось, но схема начала перегреваться из-за избыточного тока, проходящего через катушку, исходя из этого, принято решение изготовить третью катушку с активным сопротивлением 48 Ом, а также добавить вольтметр в схему, подключив его параллельно катушке, что позволило осуществлять визуальный контроль тока катушке. Также были осуществлены попытки прямого контроля тока катушки амперметром, путем его включения последовательно с катушкой. Попытка оказалась неудачной из-за влияния амперметра на температурный баланс схемы. Как было выяснено из проведенных экспериментов, замена катушки на третий вариант позволило довести время левитации до 1 минуты, с приемлемой тепловой стабилизацией установки. Далее было принято решение проверить зависимость времени и стабильности левитации от параметров магнита. Параметры, по которым изменялись магниты, - масса и конфигурация.

В результате проведенных экспериментов были выявлены оптимальные условия для проведения экспериментов с магнитом. Статья в журнале предложила 2 варианта размещения магнита в поле катушки.

- 1) Внесение магнита в поле катушки до включения установки.
- 2) Внесение магнита в поле катушки после включения установки.

Наиболее удобным оказался первый вариант. Магнит размещался на подставке стенда, с максимально допустимым расстоянием от катушки.

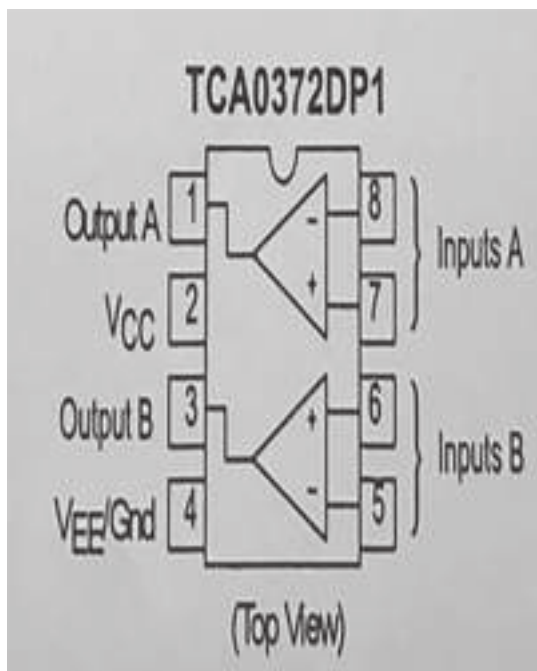
При сборке главным критерием было выполнение условий баланса моста ( $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_L$ ). Для достижения данной цели были использованы резисторы и потенциометр. Достигнуть идеального баланса моста не получилось ввиду изменения сопротивления при росте температуры. Получилось достигнуть максимально приближенных показателей ( $R_1 \cdot R_3 \sim R_2 \cdot R_L$ ). Из-за несоответствия магнит не находился в олопо-степенной левитации, а постепенно удалялся. По мере удаления увеличивались и токи, необходимые для поддержания «замороженного потока». Магнит будет уравновешен в точке 0.0203m, то есть магнит переместится на 2.8 мм.

Для запуска установки необходимо:

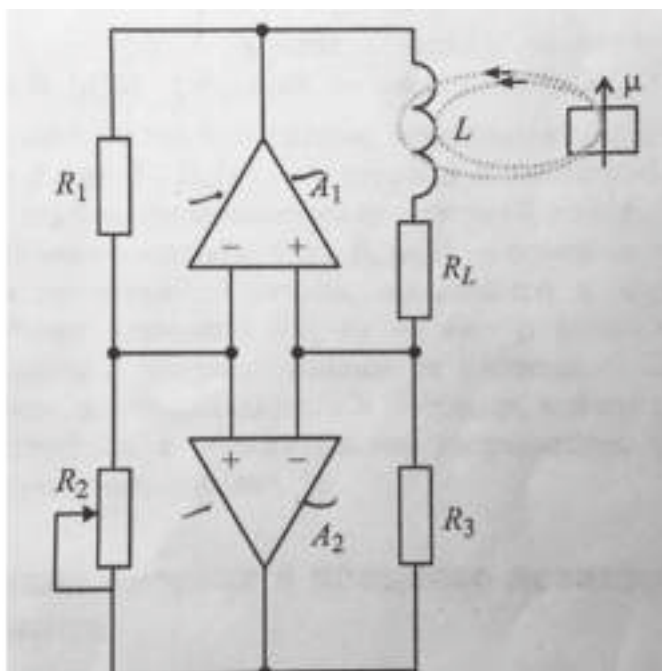
- 1) поднести постоянный магнит в поле катушки с разбалансированной схемой управления
- 2) Начать баланс схемы управления с помощью изменения сопротивления потенциометра
- 3) Продолжать настройку до тех пор, пока положение магнита не стабилизируется

Из-за нагрева установки потребуется постоянная калибровка схема, но таким образом можно достичь левитации постоянного магнита в поле несверхпроводящей катушки.

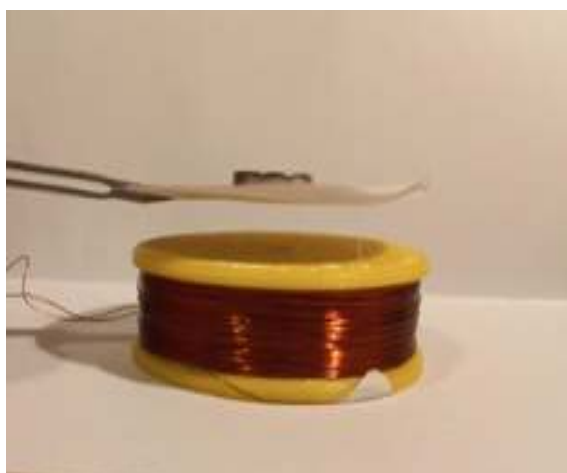
Данная схема управления магнитным полем катушки не позволяет добиться долговременной и стабильной левитации магнита из-за температурной нестабильности установки и слабой чувствительности схемы к медленному плавному перемещению магнита вниз под действием гравитации. Для стабилизации установки требуется установить контроль над температурными колебаниями. А также заменить микросхему на более чувствительную к плавному движению магнита в магнитном поле.



Электрическая схема основного элемента установки- операционный усилитель



Электрическая схема стабилизации потока



Левитация магнита на первой версии установки



Левитация магнита на итоговой версии установки



Первая версия установки



Итоговая версия установки

## Графики зависимости и осциллограммы

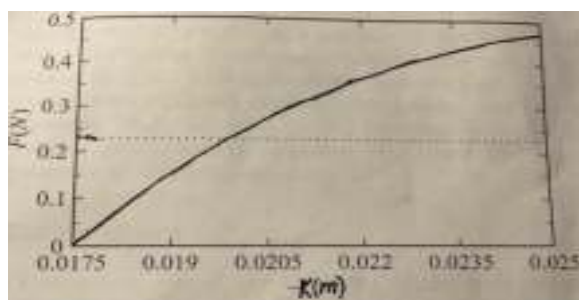
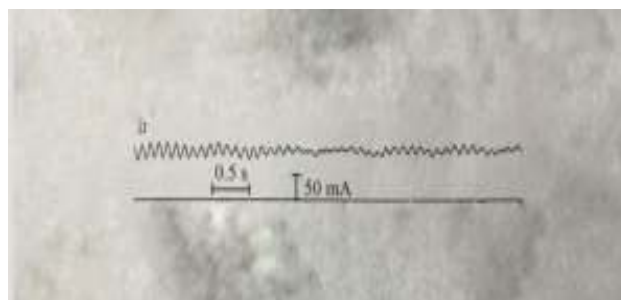


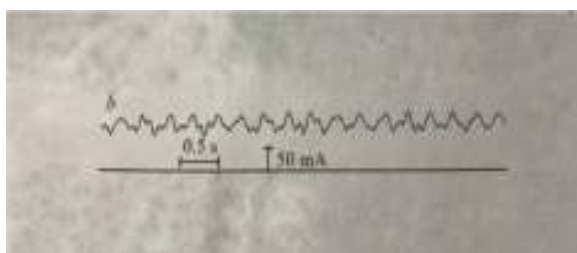
График № 1.

Зависимость силы, действующей на постоянный магнит от положения магнита.



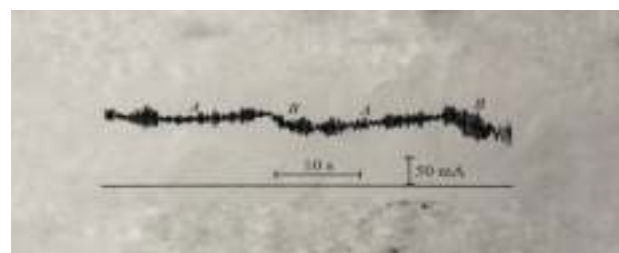
Осциллограмма № 1.

Ток в катушке, связанный с колебаниями магнита по вертикали



Осциллограмма № 2.

Ток в катушке, связанный с колебаниями магнита по горизонтали



Осциллограмма № 3.

Ток в катушке в процессе Настройки баланса моста

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург, В.Л., Андрюшин Е.А. Сверхпроводимость / Альфа-М, 2006.
2. Нейман, Л.Р., Демирчян, К.С. Теоретические основы электротехники. Т. 2. Ч. 4. Теория электромагнитного поля. 1981.
3. Тамм, И.Е. Основы теории электричества, 1989, 504 с.
4. Энциклопедия для школьников и студентов. В 12т. Т. 4. Мир техники/ под общ. ред. Н.А.Поклонского. - Минск: Беларус. энцыкл. імя П.Броўкі, 2012.
5. Документация Dual Power Operational Amplifier TCA0372. 2001.

## EFFICIENT USAGE OF HEAT ENERGY IN TECHNOLOGICAL PROCESSES

## ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

**N. Malkevich, H. Belskaya**

**Н. Г. Малькевич, Г. В. Бельская**

*Belarusian National Technical University*

*Minsk, Republic of Belarus,*

*gbelskaja@mail.ru,*

*Белорусский национальный технический университет*

*г. Минск Республика Беларусь*

Main types of heat energy used in industrial technological processes have been considered. Those processes are usually used in three temperature ranges. An effective direction of energy saving for heating of industrial premises by gas infrared radiators has been proposed. Main advantages of biogas technologies are emphasized.

Рассмотрены основные виды используемой энергии для промышленных технологических процессов в трех температурных диапазонах. Предложено эффективное направление энергосбережения с помощью обогрева промышленных помещений газовыми инфракрасными излучателями. Подчеркнуты преимущества использования биогазовых технологий.



*Keywords:* heat energy, industrial technologies, energy saving, infrared radiators, gas, biogas, heating.

*Ключевые слова:* тепловая энергия, промышленные технологии, инфракрасные излучатели, газ, биогаз, нагрев.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-206-209>

Energy policy is formed on the base of analysis of the public needs in various types of energy resources and the sources for supply most suitable for satisfaction these needs. Consumers use the following types of energy:

1. Electricity required for community facilities, households, services, industrial technologies, etc.
2. Electricity for all types of electrified vehicles.

3. Heat energy for heating process, heat treatment and industrial technology processes. This type of energy is used in three temperature ranges:

- 1) low-temperature (less than 100°C) in home units heating, public and industrial buildings heating as well as hot water supply;
- 2) medium-temperature (range 100–300°C) in food, textile, chemical and other industries for heat treatment;
- 3) high-temperature (above 300 °C) that covers a range of industrial needs. In technology processes: in ferrous, non-ferrous, cement, machine-building industry, electronic engineering, etc., the required temperature can exceed 1000 °C.

More than 60 % of total volume of energy consumption is used for heat generation, approximately 25 % for transport and less than 15 % for other purposes. Low-temperature heat generation, i.e. heat with a temperature below 100 °C, is about half of that 60 % of energy consumption.

Consumers of low-temperature heat in the sectors of economy are:

1. Agriculture: heating in farms and other production premises, grain drying in elevator, animal feed preparation in farms, fruits and vegetable processing.
2. Housing and communal services: heating of buildings, berthing space, hot water supply, food preparation in public and family catering.
3. Textile industry: heating of buildings, bleaching and dyeing of yarn, textile drying.
4. Wood-processing industry: wood drying before its machine processing, drying of painted wood products, impregnation of wood with antiseptics followed by drying, as well as drying of laminated products.
5. Electrical repair industry: impregnation process of electrical machine winding insulation in impregnation varnish or compound.
6. Bread products: dough, bakery products preparation, pasta and crackers drying process.
7. Liqueurs and spirit production: maintaining the temperature regimes for beer-wort and mash fermentation, distillation after maturation, ethanol production.
8. Beer production: beer maturation temperature control.
9. Pharmaceuticals: drug forms and ointments production. Utensils and equipment sterilization.
10. Dairy production: milk powder production. Heating of excessively sour or separated (milk passed through a separator) to produce cheese and whey.
11. Greenhouse industry: heating of greenhouses for vegetables and flowers cultivation.
12. Biogas production: maintaining temperature at 55°C in the reactor for biomass decomposition and biogas production.
13. Heating of air supplied in a cold season into subways, underground mines, cold air cutoffs installed in the gates of warehouses, workshops, as well as in the doors of crowded premises (covered markets, department stores).
14. Food industry: fish and meat products drying and smoking processes.

Consumers of medium-temperature heat in sectors of economy are:

1. Food industry: heat treatment of vegetables, fruit and meat before preservation; moisture evaporation in pastes, jams and preserves; fruit drying, soluble powder preparation; vegetables, fruit and meat products pasteurization and preservation process.
2. Sugar industry: pulp soaking, moisture evaporation from the sugar-contained solution, sugar drying process.
3. Electrical industry: drying of electrical machines, apparatus and devices windings insulation before and after impregnation with insulating varnish; drying of electrical insulation after an enamel coating has been applied; drying of insulation coating during the winding wires manufacture; drying of winding insulation before and after impregnation and after painting with enamel is included in technology of electrical machines and apparatuses repair; drying of electrical products when adhesive varnish was used technologically.
4. Mechanical engineering and repairing production: heating parts before their hot pressing on a shaft and bandages and crowns on the disk.
5. Foundry: drying molds before filling them with molten metal.

Consumers of high-temperature heat in industries are:

1. Energy industry: fuel combustion in furnaces of steam and hot water boilers; high energy parameters steam generation for steam turbines; gas and liquid fuels combustion and production of gas to drive gas turbines; thermal processes in internal combustion engines designed for liquid and gas fuels; power steam from nuclear reactors; steam at the outlet of steam turbines used for district heating.



2. Ferrous metallurgy: ore melting in blast furnaces; steel smelting; melting of metals in arc steel-smelting furnaces; heating of ingots before their rolling in rolling mills; metal preheating in presses and forging hammers; heat treatment of details produced by powder metallurgy technology; smelting of metal before casting into molds; ferroalloy production.

3. Mechanical engineering: casting of ferrous and non-ferrous metals; heating of blanks before pressure treatment on presses and forging hammers; heat treatment of products to improve their hardness, toughness and wear resistance.

4. Chemistry: process of oil refining to obtain light products; providing temperature regimes for a standard course of chemical reactions in chemical products manufacture, gasification and raw materials thermal decomposition.

5. Silicate-cement industry: firing of building and refractory bricks; firing of cement clinker for cement manufacture; firing of limestone to produce lime; tiles manufacture and firing.

6. Glass and porcelain manufacture; glass melting and glass products manufacture; firing of clay-based products to make porcelain.

7. Welding production: gas-oxygen welding and cutting; electric welding [1].

It is important for industries to receive more heat from fuel, to use heat with the highest efficiency, to reduce its losses in any possible way, to reduce the cost of energy consumption in the cost of products that increases its competitiveness in domestic and world markets.

The method of rooms heating with infrared radiators is one of the most effective energy saving. It is used as the most economical, environmentally friendly and reliable in operation. Heating of industrial and domestic premises with gas infrared radiators is able to save 40 – 60% of thermal energy and 60% of capital costs of heating system installation.

Radiated gas burners operation is based on the principle of flameless gas combustion by heating of gas-air mixture in thin channels of ceramic panels up to 850 - 950°C and become a source of infrared radiation, converting up to 50 % of energy received during combustion.

Infrared radiation passes through the air without any loss but absorbed by the objects it falls onto, supplying it with the necessary heat even when the ambient air is cold. Due to this reason it is possible to heat only the desired part of the room. The ability to supply heat directly to the heated object makes radiant burner heating systems extremely economical.

High intensity of infra-red radiation absorption determines burners application for various technological purposes: grain drying, juices thickening, food concentrates production, as well as preheating of internal combustion engines in winter, car paintwork drying while repairing, plaster heating in winter time, etc.

Special technological infra-red heaters would solve the problem of energy saving more effectively than commercially available equipment [1].

Thus, infra-red heaters can be used to heat selectively the equipment that is in use at the time. That will reduce natural gas consumption to minimum.

Biological processing of organic waste into combustible gas is a complex microbiological process. Biogas is obtained under anaerobic conditions (without aeration) by microbial decomposition of organic substances resulted in methane and carbon dioxide mixture, as well as a small amount of ammonia, hydrogen, hydrogen sulfide and some other substances formation, depending on initial substances and biogas production technology. Biogas combustible component is methane – from 55 to 85%, the rest is carbon dioxide, ballast that reduces the quality of biogas as a fuel. Due to this reason, specific heat of biogas combustion decreases and additional volume is required in storage.

The main disadvantage of biogas technology is a significant increase of specific capital cost per power-unit.

The advantages of biogas technologies are as follows:

- electric energy production from own raw materials. Pre-treated biogas can be used as a fuel for gas-powered vehicles;

- environmental impact reduction in the livestock complexes and sulfur dioxide emission due to animal waste processing; prevention of methane emissions into the atmosphere;

- obtaining of high-quality, disinfected and well absorbed by plants organo-mineral fertilizers rich in nitrogen, phosphorus, potassium and micronutrients; plant productivity increased by 15 - 20% with the use of biofertilizers, that depends on type of crops;

- improvement of working conditions in livestock complexes and creation of additional highly qualified positions [2, 3].

One of the biomass processing directions is sewage sludge and other organic plant and animal waste decomposition under anaerobic conditions in order to obtain biogas. This process of methane formation is a complex of chemical reactions that consequently take place in certain conditions.

Anaerobic fermentation of sewage sludge is a common technology resulted in volume of sludge reduction, organic substances stabilization, and biogas production. Reduction in sludge volume can lead to significant reduction in cost of its dehydration and deposition, reaching 40% of the total cost of water treatment [4].

Solid (and charcoal), liquid (crude oil and ethanol), gaseous (methanol, hydrocarbon) fuels or directly electricity can be obtained by the biomass conversion.

Methanol and ethanol can be used in a mixture with gasoline in internal combustion engines. In addition, biomass-derived gaseous fuels can be burned directly for cooking, industrial heat generation or power generation. Biogas is used for cooking, light and power generation. Biogas engines run solely on biogas or consume 80% biogas and 20% diesel fuel. When raw biogas is used as a motor fuel, the filling of engine cylinders with fuel (methane) is significantly reduced.

Technological processes of biogas formation are performed in stationary units. The exceptions are city dumps, where the process of biogas formation is practically uncontrollable, as it is influenced by many natural factors.

It is not economically viable to purify biogas with more than 95% of methane, as more than 11 732 kJ of energy is needed for each additional cubic meter of extracted carbon dioxide. For normal operation of a gas-balloon car driven on biogas, it is enough to reach 93% of methane by volume. This degree of biogas purification does not require expensive methods of chemical purification. Biogas purification to the required concentrations can be carried out with the use of physical absorption processes.

Biogas technologies will help to solve the environmental problems urgent for the Republic of Belarus: to reduce greenhouse gas emissions, as the second source of greenhouse gas emission is agriculture.

Biogas plants are modern, environmentally safe sources of energy that have become widely distributed around the world. The Republic of Belarus has a significant potential for development of biogas technologies, and comprehensive application of methods to improve their efficiency along with production of domestic equipment can make biogas plants operation economically more profitable. Therefore, the biogas plant is the unique source of energy production beneficial to the environment.

#### REFERENCES

1. *Огурцов, А.П.* Энергия и энергосбережение / Огурцов А.П. – Днепропетровск: Системные технологии, 2010. – 865 с.
2. *Кундас, С.П.* Оценка потенциала производства биогаза в Республике Беларусь / С.П. Кундас // Энергоэффективность: научно-практический журнал. Выпуск № 4 / под ред. Л.В. Шенец; учредитель Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, Департамент по энергоэффективности, Инвестиционно-консультационное республиканское унитарное предприятие «Белинвестэнергосбережение». – Минск, 2013. – С. 32–36.
3. *Осадчий, Г.Б.* Биогазовые установки и их модернизация / Г.Б. Осадчий // Энергия: экономика, техника, экология = Energy: научно-популярный и общественно-политический иллюстрированный журнал. Выпуск № 3 / под ред. О.Н. Фаворский; учредитель Российская академия наук, Объединенный институт высоких температур, Российская академия наук. – М., 2015. – С. 57–68.
4. *Жило И.А.* Использование биогаза как энергоносителя / Collection of Materials 15-th Intern. Conference on the Mining Industry, Building and Power Engineering Problems “Socio-economic and environmental problems of the mining industry, building and energetics”, 29–30 Oct. 2019, Minsk – Tula – Donetsk, vol. 3, pp. 253–258.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КАРБОНИЗИРОВАННОГО ТРОСТНИКОВОГО ВОЛОКНА В РАСТВОРНЫХ КИРПИЧАХ EXPERIMENTAL RESEARCH ON APPLICATION OF CARBONIZED REED FIBER IN BUILDING LIME-SAND BRICKS**

***Ван Сяньпэн, С. Н. Ковшар, С. Н. Леонович  
Xianpeng Wang, S. N. Kovshar, S. N. Leonovich***

*Белорусский национальный технический университет, БНТУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
Belarusian National Technical University, BNTU  
Minsk, Republic of Belarus*

В настоящее время возрастает необходимость сокращения использования неорганических материалов в строительстве, так как они вызывают значительное загрязнение окружающей среды. Для решения проблемы срока службы муниципальных дорожных плит в Беларуси в данной работе предлагается использование уникального для территории Республики Беларусь натурального камышового волокна в качестве добавки к бетонным проницаемым плитам, которое не только повышает морозо- и коррозионную стойкость бетонных проницаемых плит, но и является очень хорошим экологичным строительным материалом. Автор разрабатывает концепцию экспериментальной схемы, соответствующие экспериментальные методы, предлагает несколько осуществимых решений, проверяет осуществимость этих решений методом исследования литературного обзора и вносит осуществимые предложения по решению проблемы срока службы муниципальных дорог.

Nowadays there is an increasing need to reduce the use of inorganic materials in construction, as they cause a lot of environmental pollution. In order to solve the problem of the service life of municipal road tiles in Belarus, this paper proposes the use of a natural reed fiber, unique to the territory of the Republic of Belarus, as an additive to concrete permeable tiles, which not only enhances the frost and corrosion resistance of concrete permeable tiles, but is also a very good green building material. By conceiving the experimental framework and designing the relevant experimental methods, the author proposes several feasible solutions, and verifies the feasibility of these

solutions through the literature survey research method, and makes feasible suggestions for solving the service life of municipal roads.

*Ключевые слова:* Тростниковое волокно, бетонные кирпичи, зеленые строительные материалы.

*Keywords:* Reed fiber, concrete bricks, green building materials.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-209-212>

Растущая озабоченность снижением спроса на энергию и воздействия строительной индустрии на окружающую среду высветила возможности, предоставляемые природными материалами. Побочные продукты сельского хозяйства также являются источником поставок неметаллических растительных волокон для строительной промышленности. Конечно, это также возобновляемые органические волокна с хорошими деградационными свойствами, возобновляемыми характеристиками и вносят значительный вклад в снижение выбросов углерода в «зеленых» зданиях. Что же представляют собой побочные продукты сельского хозяйства? Такие как багасса, рисовая шелуха, джутовое волокно, тростник, бальзам, солома и пшеничная солома, скорлупа арахиса, банановые связки, кожура и початки кукурузы, скорлупа кокоса, кенаф, стебли хлопка, волокно финиковой пальмы, дуриан, волокно масличной пальмы, листья ананаса, волокно тигровой лилии, подсолнечник и олива, и благодаря литературным методам исследования мы узнаем, что многие ученые использовали эти отходы для разработки новых устойчивых технологий строительных материалов [1]. Использование волокон из побочных продуктов сельского хозяйства в строительных материалах, похоже, является доминирующим направлением исследований новых материалов сегодня, ученые со всего мира проводят интересные исследования, что делает их перспективными для данного раздела строительных материалов, поскольку они больше соответствуют парадигме циркулярной экономики.

Многие исследования показали, что такие материалы, как волокна скорлупы кокосового ореха, волокна конопли и соломы широко используются в современном строительстве для применения в конструкционном бетоне, в то время как исследований по использованию волокон тростника в конструкционном бетоне было проведено не так много. Большое количество исследовательских работ было посвящено целесообразности применения этих неметаллических волокон в бетоне, и недавние испытания в этой области показали, что неметаллические растительные волокна, используемые в строительстве, имеют хорошие экономические показатели, а также экологические характеристики. Поэтому вполне реально карбонизировать неметаллические волокна и использовать собранный углеродный порошок для замены летучей золы в кирпичах для производства новых экологически чистых кладочных кирпичей.

Одним из наиболее известных продуктов на основе биомассы является известковый пеньковый бетон (LHC), пеньковый бетон или конопляный бетон, который в настоящее время используется в новых зданиях для ненесущих целей (в основном в качестве основного материала для блоков стеновой системы, а также для изоляции крыши) и для энергетической модернизации существующих зданий. Использование стружки конопли в качестве заполнителя в бетоне приводит к значительному снижению плотности, от 270 кг/м<sup>3</sup> до 850 кг/м<sup>3</sup>, с последующим снижением значений теплопроводности, от 0,06 Вт/мК до 0,18 Вт/мК. Такое большое изменение плотности отражается на достижении композитного материала различные показатели прочности на сжатие, от 0,10 МПа до почти 4 МПа [2], в то время как теплопроводность (от 0,245 до 0,191 Вт/мК) и механические свойства (прочность на сжатие от 0,848 до 1,509 МПа и прочность на изгиб от 0,483 - 0,829 МПа) имеют определенные общие черты с волокнами конопли [3], и эти композиты обладают хорошими акустическими свойствами, огнестойкостью и стойкостью к воздействию соли и биоразложению.

Тростник – распространенное растение, встречающееся повсеместно на земле, но его потенциальное применение еще не до конца изучено. С другой стороны, Беларусь, как страна 10 000 озер, имеет изобилие камышового волокна, с огромным годовым производством по низким ценам, даже при ручном сборе. Поэтому исследование волокнистого порошка, полученного путем карбонизации камышового волокна и добавления его в газобетонные блоки, является новым строительным источником энергии для снабжения городских, промышленных и сельскохозяйственных зданий, и может соответствовать цели зеленого и устойчивого развития.

Поскольку Беларусь расположена в холодном регионе, здесь до 6 месяцев в году длится зима, большое количество снегопадов и низкая температура до -30 °C могут серьезно повредить бетонные проницаемые плитки, уложенные на тротуаре; большинство государственных ведомств на муниципальных дорогах используют промышленную соль для таяния снега, а Cl<sup>-</sup> промышленной соли может вызвать коррозию бетонных проницаемых плиток в большом количестве, что значительно сокращает срок службы тротуара в муниципальных проектах. Это не только создает проблемы для передвижения людей, но и приводит к определенным экономическим потерям. Корродированное и замерзшее дорожное покрытие показано на рисунке 1 и рисунке 2 ниже.

В связи с этим мы предлагаем экологичный и экологически чистый волокнистый материал для добавления в проницаемые бетонные блоки для решения существующих проблем в муниципальном дорожном строительстве в Республике Беларусь. Для решения проблемы морозостойкости и коррозионной стойкости проницаемых блоков мы выбрали для использования в бетонных проницаемых блоках неметаллическое растительное волокно - камышовое волокно, которое не только недорогое, но и обладает хорошей теплоизоляцией и коррозионной стойкостью, а также высокой морозостойкостью и коррозионной стойкостью, и является экологически чистым, экологически безопасным и возобновляемым строительным материалом.



(Рисунок 1, напольная плитка, проржавевшая от Cl-)



(Рисунок 2, напольная плитка, поврежденная морозом)

Тростниковое волокно – распространенное растение, встречающееся повсеместно на планете, но его потенциальные возможности использования еще не до конца изучены. Беларусь, как страна с Много озер, обладает изобилием тростникового волокна, с огромным годовым производством по низким ценам, даже при ручном сборе. Поэтому авторы предлагают две идеи: одна заключается в карбонизации тростникового волокна и добавлении порошкообразного волокна в проницаемые бетонные блоки, а другая - в добавлении тростникового волокна непосредственно в проницаемые бетонные блоки. Другая идея заключается в добавлении волокон тростника непосредственно в бетонные проницаемые блоки, что используется для обеспечения покрытия городских дорог и уменьшения повреждений от мороза и коррозии, тем самым увеличивая срок службы дорог.

Основными материалами, использованными в экспериментальной деятельности, были порошок карбонизированного камышового волокна, природная известь, цемент и природный речной песок Минского моря, а также крупный заполнитель. Исследования для экспериментальной работы в данной статье были направлены на разработку новой серии бетонных проницаемых блоков для испытаний, используя смесь извести/цемента и карбоната тростника в качестве основного материала для экспериментальных пропорций, или непосредственно используя тростниковое волокно, добавленное к основным пропорциям, и производство двух типов тротуарных проницаемых блоков для сравнения их механических свойств и определения их теплопроводности, теплоизоляции, морозостойкости и влияния NaCl на проницаемость тротуара, соответственно. Были определены теплопроводность, теплоизоляция, морозостойкость, коррозионные свойства NaCl, прочность и вязкость тротуарных проницаемых блоков, срок службы и химическая стойкость.

План испытаний заключался в изготовлении смеси из камышового волокна в качестве добавки, тонера из камышового волокна вместо летучей золы в качестве добавки и камышового волокна и тонера из камышового волокна в качестве добавки. Были изготовлены образцы кирпича 240 мм x 115 мм x 53 мм. По 6 образцов из каждой группы, всего 18 образцов, были проанализированы на механические свойства, морозостойкость, коррозионную стойкость и другие характеристики материала.

Экспериментальные материалы и соотношения: кирпичи из тростникового волокна: тростниковое волокно (длина 40 мм, ширина 3-5 мм, диаметр 0,45 мм, плотность 1,7 г/см<sup>3</sup>) было добавлено в количестве 2%, 100 кг. заполнитель 1100 кг, водоредуцирующий агент 4,0; стандартное твердение в течение 28 дней и различные испытания.

Тонер из тростникового волокна: тонер из тростникового волокна с 65 % целлюлозы и 35 % лигнина (используется в качестве замены летучей золы). 400 кг цемента R42.5 Polenta, 25 кг натуральной извести с прочностью на сжатие 5,17 МПа, 730 кг мелкого песка с модулем тонкости 0 - 0,5 мм, 1100 кг природного крупного заполнителя с 60 % кремнезема, 20 % глинозема, 10 % оксида кальция, 7 % оксида железа и воздухововлекающим агентом. 1100 кг природного крупного заполнителя, содержащего 60 % оксида кремния, 20 % глинозема, 10 % оксида кальция и 7 % оксида железа, и воздухововлекающий агент. Стандартный уход проводился в течение 28 дней, были проведены различные механические испытания, а также испытания на морозостойкость и коррозионную стойкость.

Кирпичи со смешанной добавкой из тростникового волокна и тонера из тростникового волокна: тростниковое волокно добавляется в кирпичи с тонером из тростникового волокна. Одновременно кирпичи поднимаются в течение 28 дней и подвергаются различным механическим и механическим испытаниям, а также испытаниям на морозостойкость и коррозионную стойкость.

В экспериментальном проекте использовался тонер из тростникового волокна с 65 % целлюлозы и 35 % лигнина, цемент Polenta с R42,5, природная известь с прочностью на сжатие 5,17 МПа, мелкий песок с модулем тонкости 0–0,5 мм, природный крупный заполнитель с 60 % оксида кремния, 20 % оксида алюминия, 10 % оксида кальция, 7 % оксида железа и воздухововлекающий агент.

Конструкция испытываемого материала приведена в таблице 1.



Таблица 1

| Материалы                      | Ц       | Т      | Н      | В    | П       | В-В  | П       |
|--------------------------------|---------|--------|--------|------|---------|------|---------|
| Соотношение объемов (%)        | 21.74   | 52.17  | 4.35   | -    | 4.35    | 0.51 | 17.40   |
| Доза на 30 литров (г)          | 7340    | 5590   | 680    | 4600 | 1745    | -    | 7800    |
| Плотность (кг/м <sup>3</sup> ) | 1125.23 | 357.00 | 520.88 | -    | 1338.04 | -    | 1494.14 |

Примечание: Ц-Р42.5 цемент, Т-Тонер из тростникового волокна, Н-Натуральная известь, В-Вода, П-Природные заполнители, В-в-Воздухововлекающие вещества, п-песок.

### Результаты и обсуждение

Литература показала, что добавление золы камышового волокна в бетонные проницаемые блоки и прямое добавление камышового волокна в бетонные проницаемые блоки вполне осуществимо, так как хорошая прочность камышового волокна соответствует изгибающим свойствам бетонных проницаемых блоков. Исследование Rosa Caponetto, Massimo Cuomo ясно показывает, что тростниковое волокно обладает хорошей теплопроводностью и хорошими теплоизоляционными свойствами, и этот вывод является лучшим доказательством хорошей морозостойкости тростникового волокна [4]; D. Badagliacco добавил тростниковое волокно в натуральный водостойкий раствор на основе извести для модификационных испытаний с целью проверки его свойств. Результаты показали, что обычное камышовое волокно может быть использовано для изготовления прочных экологически совместимых сборных кирпичей или тротуарной плитки, и что полученные плитки обладают хорошей прочностью на изгиб и коррозионной стойкостью. Таким образом, данная экспериментальная и практическая идея осуществима и может решить проблему муниципальных дорожных плит в Беларуси, поэтому напольная плитка из камышового волокна или золы камышового волокна отлично подходит в качестве нового материала для применения в экологическом строительстве и для содействия устойчивому развитию в строительной отрасли [5]. Однако практическое применение еще не разработано, и необходимы дальнейшие эксперименты.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Madurwar, M.V.; Ralegaonkar, R.V.; Mandavgane, S.A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. Constr. Build. Mater. 2013, 38, 872–878.
2. Jami, T.; Karade, S.R.; Singh, L.P. A review of the properties of hemp concrete for green building Applications. J. Clean. Prod. 2019, 239, 117852.
3. Caponetto R, Cuomo M, Detommaso M, et al. Performance Assessment of Giant Reed-Based Building Components[J]. Sustainability, 2023, 15(3): 2114.
4. Caponetto R, Cuomo M, Detommaso M, et al. Performance Assessment of Giant Reed-Based Building Components[J]. Sustainability, 2023, 15(3): 2114. <https://doi.org/10.3390/su15032114>
5. Badagliacco D, Megna B, Valenza A. Induced modification of flexural toughness of natural hydraulic lime based mortars by addition of giant reed fibers[J]. Case Studies in Construction Materials, 2020, 13: e00425. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00425>



# МОДУЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА МОДЕЛИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ АДАПТИВНОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

## MODULAR TECHNOLOGIES AS THE BASIS OF THE PROFESSIONAL FIELD MODEL FOR ADAPTIVE LEARNING METROLOGY, STANDARDIZATION AND CERTIFICATION

**И. И. Шпак<sup>1</sup>, В. И. Красовский<sup>2,3</sup>**

***I. I. Spak<sup>1</sup>, V. I. Krasovsky<sup>2,3</sup>***

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*shpak@bsuir.by*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup>*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*vikras@iseu.by*

<sup>1</sup>*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Belarussian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>3</sup>*International Sakharov Environmental Institute of Belarussian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

В работе приведены результаты исследования преимуществ использования деятельностного, или функционального подхода по сравнению с традиционным - предметным, или урочно-лекционным подходом для создания модели профессиональной области при адаптивном изучении дисциплины. Актуальность проведенного исследования обусловлена всё более широким распространением адаптивных образовательных технологий. Без эффективной модели профессиональной области успешно реализовать на современном уровне адаптивное обучение невозможно.

The paper presents the results of a study of the advantages of using an activity-based or functional approach in comparison with the traditional subject-based or lecture-based approach to create a model of a professional field in the adaptive learning of the discipline. The relevance of the study is due to the increasingly widespread use of adaptive educational technologies. Without an effective model of the professional field, it is impossible to successfully implement adaptive learning at the modern level.

**Ключевые слова:** модульные технологии, адаптивные образовательные технологии, модель профессиональной области, индивидуализация обучения, система образования, концепция «Модули трудовых компетенций», деятельностный подход.

**Keywords:** modular technologies, adaptive educational technologies, professional field model, individualization of training, education system, the concept of «Modules of labor competencies», activity approach.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-213-217>

Стратегические цели и задачи развития и совершенствования высшего образования у нас в стране определены в «Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года» [1], где провозглашено: «К одной из основных тенденций развития образования в мире можно отнести **ориентацию на личность обучающегося** в целях наиболее полного раскрытия его способностей и удовлетворения его образовательных потребностей». Реализация указанной тенденции невозможна без разработки и внедрения адаптивных образовательных систем.

Актуальность задач, решаемых для этих целей, постоянно возрастает. Это связано с тем, что компьютеризация, информатизация и цифровизация, проникающие во все сферы человеческой деятельности, а также развитие и инновационное применение искусственного интеллекта, облегчают внедрение адаптивного обучения на всех уровнях, начиная с дошкольного образования, общего среднего образования, инклюзивного, профессионально-технического и среднего специального образования, и заканчивая высшим образованием.

Сама идея адаптации процесса усвоения знаний к возможностям и потребностям человека упоминается уже в древних трактатах в первом веке до нашей эры; а в средние века Ян Амос Коменский в сформулированных им педагогических принципах классно-урочной системы обучения, создал, по сути своей, педагогическую основу адаптивного обучения [2]. Теперешний облик и широкое внедрение современных адаптивных образовательных

технологий в процесс обучения на всех уровнях обусловлены использованием возможностей, предоставляемых развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и искусственного интеллекта [2], а также весьма активным внедрением дистанционного обучения [3].

Создание любой системы адаптивного обучения предполагает решение первоочередной задачи - определение того, что и каким образом требуется адаптировать. Это означает необходимость создания модели системы, а затем на её основе алгоритма, с помощью которого реализуется адаптивное профессиональное обучение [2]. Любой процесс обучения имеет целью и, в конечном счёте, сводится:

- к формированию требуемого объема учебного материала, необходимого для получения нужных профессиональных знаний – созданию содержания обучения,
- усвоению учебного материала и закреплению полученных знаний обучающимися.

Говоря современным инфокоммуникационным языком, задача адаптивной системы обучения (модели системы, а затем алгоритма на основе этой модели) сводится к необходимости использования и организации оптимального взаимодействия двух источников данных:

- содержания обучения, или же модели профессиональной области,
- данных о возможностях и потребностях обучаемого, или же модели обучаемого.

Отсюда очевидно, что высококачественное профессиональное обучение возможно *ТОЛЬКО* при условии обеспечения полноты и качества самого содержания обучения, что при адаптивном обучении означает – при условии *высокоэффективной модели профессиональной области*.

Потребности в кадрах и направления профессионального обучения, а значит и содержание обучения зависят от спроса рынка труда на тех или иных специалистов. Профессиональное образование должно обеспечивать обучение специалистов того уровня квалификации и компетенций по профессиям, которые востребованы на динамичном и гибком рынке труда. Менее десяти лет назад основными факторами, определяющими развитие мировой экономики, а значит и рынка труда, были: *глобализация, регионализация*, а чуть позже ещё *цифровизация*.

До 2020 года, начала активной фазы пандемии, эти факторы оказывали влияние на все области человеческой деятельности, включая и потребности в профессиональном образовании.

Пандемия COVID-19 не просто «отменила» регионализацию и глобализацию, но смогла даже вызвать разногласия между многими странами и целыми регионами: возникающие проблемы между странами – членами ЕС и другими странами в процессе вакцинации от COVID-19 [4].

Основополагающие принципы, которые должны лежать в основе современных систем и содержания профессионального обучения, были сформулированы специалистами и экспертами Международной организации труда (МОТ) в кризисные 80-е годы двадцатого столетия. Этим принципам соответствует «Концепция модульного профессионального обучения», известная в мире как «Модули трудовых компетенций» – МТК-концепция. Важнейшие из указанных принципов [5]:

- оперативности и гибкости;
- непрерывности и открытости;
- демократизации;
- доступности;
- модульности;
- эффективности и качества;
- стандартизации;
- индивидуализации процесса обучения;
- ориентированности на конечный результат;
- активизации;
- плюрализации и др.

Показательно, что соблюдение практически всех этих принципов заложено в «Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года» [1].

Формирование содержания профессионального обучения [5] на основе модульного подхода (МТК-концепции МОТ) базируется на деятельностном (функциональном), активизирующем и вариативном подходе к учебному процессу. Организация профессионального обучения на основе МТК-концепции МОТ позволяет:

- реализовывать идею индивидуализации обучения (заложена в самой Концепции);
- создавать гибкие программы обучения (предусмотрено самой Концепцией);
- создавать гибкие образовательные стандарты;
- способствует повышению мотивации познавательного процесса.

Реализация указанных возможностей приводит к повышению качества и снижению стоимости обучения. При этом обеспечивается возможность реализации индивидуализации обучения по двум направлениям:

- за счёт регулирования темпа усвоения учебного материала, при едином для всех объеме;
- путём выбора объема учебного материала самим обучаемым, в соответствии со своими пожеланиями и возможностями.

Модульная технология не просто способствует самообучению, но и увеличивает, тем самым, ответственность обучаемого за полученные результаты своего труда. Роль преподавателя при этом трансформируется, он

превращается в консультанта, и основными его функциями становятся управление и контроль за познавательной деятельностью обучаемых, за счёт чего квалификация преподавателя влияет в меньшей степени на результаты обучения. С учётом указанных факторов могут значительно сокращаться сроки обучения – полнота и глубина усвоения материала при этом не страдают.

Обучающийся при модульном подходе может под управлением преподавателя или самостоятельно усваивать учебный материал. При этом ему предстоит работать с индивидуальным пакетом научно-методического обеспечения, который включает [5]:

- целевую программу действий;
- банк учебной информации;
- методические руководства для достижения поставленных учебных целей;
- средства контроля за степенью усвоения учебного материала и качеством обучения;
- способы корректировки уровня подготовки.

Для реализации модульных принципов профессионального обучения существуют два различных подхода: *традиционный и деятельностный (функциональный)*.

Традиционный подход предполагает формирование содержания профессионального обучения по предметно-урочному (лекционно-семинарскому) признаку. Сформированный таким образом учебный материал представляет собой набор учебных предметов или дисциплин. Однако в педагогической практике известно, что усвоение учебного материала отдельных дисциплин, даже достаточно глубокое и полное, не обязательно означает получение учащимся способности эффективно использовать полученные знания в практической деятельности.

Более эффективным для формирования содержания профессионального обучения является деятельностный подход [5]. Он основан на анализе деятельности будущего специалиста. При этом группой экспертов осуществляется прогностический анализ содержания труда специалиста. В процессе анализа выявляются трудовые функции, идентифицируются объекты и средства труда. В результате проведенного анализа получается исчерпывающее описание деятельности будущего специалиста. Это описание будет содержать весь перечень задач, которые предстоит решать специалисту в процессе своей профессиональной деятельности. На основе описания всех решаемых задач определяются: требуемое содержание, структура и последовательность усвоения учебного материала, который необходим для профессионального обучения будущего специалиста.

В учреждениях высшего образования, более широко распространен традиционный подход, хотя он уступает деятельностному подходу по эффективности. Модульность при этом реализуется путем разбивки на части (модули) содержания учебного материала внутри одной дисциплины или группы дисциплин. Учебный материал дисциплины структурируется и систематизируется с выделением отдельных модульных блоков (МБ). Усвоение материала каждого МБ происходит с обязательным контролем и подведением итогов.

Кроме итоговых оценок по отдельным модулям, для повышения объективности учета текущей успеваемости могут использоваться накопительные оценки, по которым определяется рейтинг обучаемых: по отдельной дисциплине, по всем дисциплинам цикла, по итогам учебного года, или за весь срок обучения. Эффективность обучения улучшается за счет активизации самостоятельной работы и повышения мотивации обучаемых. Такая методика применяется на практике в виде *модульно-рейтинговых систем обучения*.

Максимальная эффективность модульного обучения обеспечивается при разработке модульных программ на основе *деятельностного подхода* [5]. При этом, в основе разработки программ и содержания обучения лежит описание и анализ профессиональной деятельности специалиста, которое проводится с использованием профессиональных стандартов, квалификационных характеристик, заданий работодателей или должностных инструкций. а также личных профессиональных знаний и опыта самих разработчиков. Описанная деятельность специалиста разбивается на отдельные логически завершённые части – так называемые модульные блоки (МБ) [5].

***МБ – это логическая завершённая и приемлемая часть работы в рамках производственного задания, профессии или области деятельности, с четко обозначенными началом и окончанием, которая, как правило, не подразделяется в дальнейшем на более мелкие части.***

Сгруппированные для конкретного вида работы МБ, образуют так называемый модуль трудовых компетенций (МТК).

***МТК представляет описание работы, выраженное в виде МБ (МТК описывает в форме МБ работу, выполняемую в рамках конкретного производственного задания).***

Работа в рамках отдельного МБ разбивается на отдельные четко определенные шаги (операции), которые выполняются в определенной логической последовательности. Для подготовки к выполнению данных операций обучающемуся нужно овладеть определенными знаниями и навыками (психомоторными, интеллектуальными и эмоциональными). Исходя из анализа шагов работы в каждом МБ, а также необходимых для их выполнения навыков и компетенций, определяются объем и содержание учебного материала, который необходим и достаточен для подготовки обучающегося к выполнению работы в рамках всего МТК.

Учебный материал разбивается и структурируется на отдельные учебные элементы (УЭ). Каждый из учебных элементов посвящен формированию у обучаемого определенного вида компетенций или знаний.

*УЭ – самостоятельная учебная брошюра (учебный элемент в электронном формате), предназначенная для обучения, ориентированного как на самостоятельную работу обучаемого, так и на работу под руководством преподавателя. Каждый УЭ создан для определенных практических компетенций или теоретических знаний, т. е. содержит весь объем учебного материала, необходимого для формирования у обучаемого данных компетенций или получения данных теоретических знаний.*

Структурная схема МТК-программ и логическая взаимосвязь их составных частей: МТК, МБ и УЭ – показаны на рисунке 1.

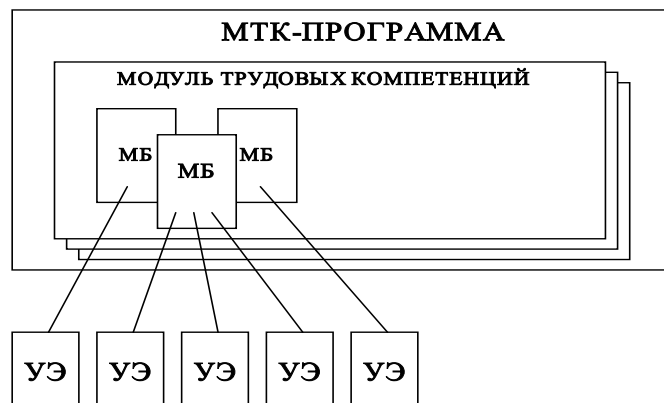


Рисунок 1 – Структурная схема и взаимные связи элементов МТК-программы

База УЭ являются для обучаемых основным источником учебной информации, Она может быть создана как для отдельной профессии, так и для профессиональной области. Доступность современных баз УЭ (в электронном формате) обеспечивается благодаря использованию облачных технологий.

Для преподавателей и учебных заведений, организующих обучение, может разрабатываться инструктивный блок (ИБ).

*ИБ – это современная форма плана занятий, разработанная для модульной системы обучения. Он способствует осуществлению преподавателями систематического планирования и подготовки занятий. ИБ могут также служить основой для разработки УЭ.*

В зависимости от поставленных учебных целей, отдельные МТК, входящие в состав МТК-программ, могут состоять из различного количества МБ в рамках одной или нескольких профессий.

Весьма эффективным представляется использование МТК-программы, созданной на основе использования рассмотренных модульных технологий, в качестве модели профессиональной области для адаптивного изучения дисциплины «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ», как при подготовке специалистов в рамках специальностей «Информационные системы и технологии», «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» и «Ядерная и радиационная безопасность» в МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, так и при целевой подготовке, переподготовке и повышении квалификации инженерных кадров и специалистов соответствующего профиля.

Учебный материал дисциплины достаточно просто поддается разбиению на отдельные логически завершенные части – МБ. Из них можно составить МТК для всех разделов дисциплины. МТК каждого из разделов, в свою очередь, послужат основой создания МТК-программы для изучения дисциплины в целом.

Один из вариантов разбиения учебного материала по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» на МБ, формирования из МБ соответствующего МТК для каждого раздела программы по дисциплине и получения в итоге МТК-программы для адаптивного изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» в целом, представлен в таблицах 1,2.,3.

Таблица 1

Перечень МТК, образующих МТК-программу для адаптивного изучения МСиС

| № | Наименование:                                                                          |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <b>МТК1</b> Основы метрологии                                                          |
| 2 | <b>МТК2</b> Измерения электрических и неэлектрических величин. Автоматизация измерений |
| 3 | <b>МТК3</b> Система технического нормирования и стандартизации Республики Беларусь     |
| 5 | <b>МТК4</b> Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь        |

Таблица 2

## Перечень МБ для МТК1

| №   | Наименование:                                           |
|-----|---------------------------------------------------------|
| 1   | <b>МТК1</b> Основы метрологии                           |
| 1.1 | Взаимосвязь метрологии, стандартизации и сертификации.  |
| 1.2 | Общие сведения о метрологии и измерениях                |
| 1.3 | Погрешности измерений, обработка результатов измерений. |
| 1.4 | Метрологическое обеспечение измерений                   |
| 1.5 | Государственная система обеспечения единства измерений  |
| 1.6 | Эталонная база Республики Беларусь                      |
| 1.7 | Методики выполнения измерений (МВИ).                    |

Таблица 3

## Перечень МБ для МТК2

| №   | Наименование:                                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 2   | <b>МТК2</b> Измерения электрических и неэлектрических величин                     |
| 2.1 | Общие вопросы измерений                                                           |
| 2.2 | Измерения электрических величин                                                   |
| 2.3 | Измерения электрических и неэлектрических величин                                 |
| 2.4 | Методы и средства измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей              |
| 2.5 | Методы передачи измерительной информации (телеизмерения). Автоматизация измерений |

Следует отметить, что высокоэффективное применение МТК-программ, как для традиционного, так и для адаптивного изучения дисциплин, достигается только при разработке всех учебных элементов и методических материалов, что связано со значительными временными и материальными затратами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100683&p1=1&p5=0>. – Дата доступа: 10.02.2023.

2. Шпак, И. И. О создании на основе модульных технологий модели профессиональной области для адаптивного образовательного процесса по изучению схмотехники / И. И. Шпак // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы IX Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26 мая 2022 г. – Минск: БГУИР, 2022. – С. 52–53.

3. Ломако, А.В. Инструментарий сетевого дистанционного обучения. / А.В. Ломако, В.И. Красовский, И.А. Тавгень // В кн. «Технологии электронного обучения в современном ВУЗе. Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Минск, 13-15 мая 2008 г. – Минск: ГИУСТ БГУ, 2008. – С. 25 – 28.

4. Шпак, И. И. Модульность (на основе концепции МОТ) и адаптивность – реальные пути повышения эффективности удаленного обучения в вузах в условиях пандемии / И. И. Шпак // Universe of university: сб. материалов Междунар. науч. интернет-конф., Екатеринбург, 18 мая 2021 г. / Уральский институт управления – филиал РАНХиГС. – Екатеринбург, 2021. – С. 338–341.

5. Шпак, И. И. Модульные образовательные технологии в век информатизации и электронного обучения / И. И. Шпак // Информационные системы и технологии: управление и безопасность: сб. статей II Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Тольятти, дек. 2013 г. – Тольятти: ПВГУС, 2013. – С. 362–373.



# **ИНТЕНСИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

## **INTENSIVE TECHNOLOGIES OF PRE-SOWING SEED TREATMENT AS A FACTOR OF INCREASING FOOD SECURITY**

**В. В. Сувуха**

**V. Sivukha**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
sivuxa.2001@mail.ru*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Многими учеными мира исследуется проблема повышения продовольственной безопасности и предлагаются различные варианты ее решения, одним из которых является развитие агропромышленных комплексов стран и повышение количества урожая с применением новейших достижений научно-технического прогресса. Специалисты сельскохозяйственного производства постоянно ищут способы и средства повышения посевных качеств семян, ведь увеличение урожайности путем стимуляции ростовых процессов и снижения поражения вредителями и болезнями экологически чистыми способами является важной задачей интенсификации производства сельскохозяйственной продукции. Именно поэтому часто выделяют предпосевную обработку семян как один из наиболее простых способов повышения качества посевного материала и увеличения урожайности культур.

Many scientists of the world are investigating the problem of improving food security and offering various solutions to it, one of which is the development of agro-industrial complexes of countries and increasing the amount of harvest using the latest achievements of scientific and technological progress. Agricultural production specialists are constantly looking for ways and means to increase the sowing qualities of seeds, because increasing yields by stimulating growth processes and reducing pest and disease damage by environmentally friendly methods is an important task of intensifying agricultural production. That is why pre-sowing seed treatment is often singled out as one of the simplest ways to improve the quality of seed material and increase crop yields.

*Ключевые слова:* продовольственная безопасность, урожайность, предпосевная обработка, интенсивные технологии.

*Keywords:* food safety, productivity, pre-sowing treatment, intensive technologies.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-218-221>

Несмотря на высокоразвитые технологии продовольственная ситуация обстоит так же остро, как и десятки лет назад. Эта проблема носит глобальный характер. Под глобальной продовольственной проблемой понимается способность человечества полностью обеспечивать себя жизненно необходимыми продуктами питания надлежащего качества и в соответствии с физиологическими нормами, при этом не нарушая экологического равновесия (недопущение необратимых изменений в окружающей среде обитания человека). Еще в 1798 г. в своей книге «Опыт о законе народонаселения» Томас Мальтус утверждал, что численность населения увеличивается в геометрической прогрессии, а производство продуктов питания только в арифметической [1]. По взглядам Т. Мальтуса, именно это различие и является причиной многих общественных бед – бедности, голода, эпидемий и войн. В XX в. в труде «География голода» бразильским ученым Жозе де Кастро была исследована проблема мирового голода. Согласно полученным им данным уже в те годы почти 2/3 населения планеты испытывало на себе условия постоянного голода [2].

На проблему нехватки продовольствия оказывают влияние множество различных факторов, таких как: географические условия; размещение мирового транспорта и особенности мировой торговли; демографическая ситуация; экономическая отсталость стран «третьего мира», которая выразилась в низком уровне развития производительных сил общества, узкой аграрно-сырьевой направленности и, как следствие, низкой покупательной способности населения [3].

В Республике Беларусь решению проблемы продовольственной безопасности уделяется значительное внимание. Прежде всего следует отметить, что в целях реализации государственной политики в области обеспечения национальной продовольственной безопасности, направленной на повышение обеспеченности качественным продовольствием и его доступности для полноценного питания и здорового образа жизни населения путем

развития конкурентоспособного аграрного производства и создания социальноэкономических условий для потребления продуктов питания на рациональном уровне разработана Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15 декабря 2017 г. № 962 [4]. В принятой Доктрине сформирован ряд индикаторов состояния национальной продовольственной безопасности, среди которых выделяют рациональную норму потребления, которая является средневзвешенной недифференцированной нормой потребления продуктов питания для различных групп населения и применяется для определения рациональной потребности Республики Беларусь в основных видах сельскохозяйственной продукции, сырья, продовольствия и потенциальной емкости внутреннего рынка.

В ходе рассмотрения потребительской составляющей продовольственной безопасности, можно сделать вывод о том, в Республике Беларусь наблюдается ряд негативных фактов, в числе которых потребление основных продуктов питания ниже уровня рациональных норм, а также завышенная доля расходов домашних хозяйств на приобретение продуктов питания.

Многими учеными мира исследуется проблема повышения продовольственной безопасности и предлагаются различные варианты ее решения, одним из которых является развитие агропромышленных комплексов стран и повышение количества урожая с применением новейших достижений научно-технического прогресса. Первостепенной целью развития агропромышленных комплексов является увеличение производства основных видов растениеводческой продукции, эффективно используя для этого достижения науки и опыт передовых хозяйств. Формирование эффективного, устойчивого и конкурентоспособного производства сельскохозяйственной продукции и продовольствия, ориентация на удовлетворение спроса внутреннего рынка и увеличение поставок на экспорт, повышение уровня и качества жизни сельского населения, обеспечение продовольственной безопасности страны – основные задачи развития агропромышленного комплекса в большинстве стран мира.

Расширения посевных площадей уже недостаточно для повышения урожайности и валовых сборов сельскохозяйственных культур. Необходимо использовать новейшие достижения науки и передовой практики, и за счет этого добиваться стабилизации зернового производства.

В условиях ограниченного роста посевных площадей основной путь увеличения валовых сборов сельскохозяйственных культур – повышение их урожайности и качества за счет интенсивных технологий возделывания.

Интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур (от латинского *intensio* – напряжение, усиление) характеризуются поточностью производства, комплексностью применения факторов интенсификации, оперативностью выполнения механизированных работ, оптимальной механизацией. Эти технологии опираются на биологические характеристики растений по фазам развития и этапам органогенеза, учитывают требования растений к условиям окружающей среды и удовлетворяют эти условия, позволяют управлять процессом формирования урожая и качества продукции, программировать урожай. Интенсивная технология возделывания сельскохозяйственных культур базируется на полном удовлетворении потребности растений в жизненно важных факторах внешней среды: свете, тепле, воде, воздухе, минеральном питании.

Интенсивные технологии основываются на комплексном использовании достижений науки, техники и передового опыта на всех этапах производства продукции в отличие от традиционных базирующихся на применении отдельных эффективных приемов.

Во время большого экономического значения сокращение труда и энергии при выращивании культур, актуализируется необходимость умения четко обосновать не только применение каждого элемента технологии, но и их рациональность.

Поскольку рост технической оснащенности и эффективное использование машин способствуют сокращению сроков проведения полевых работ и улучшению их качества обработки, одним из решающих факторов повышения производительности труда при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии является комплексная механизация и рациональное использование техники. Кроме того, одним из резервов экономии затрат является широкое применение комбинированных агрегатов. За счет сокращения количества проходов по полю они меньше уплотняют почву без ущерба для качества. Это один из основных путей сокращения материально-технических затрат и рабочего времени, позволяющий существенно сокращать количество технологических операций и тем самым уменьшать как минимум вдвое расход дефицитных горюче-смазочных материалов и запчастей. В конечном итоге все это влияет на эффективность производства продукции и ее конкурентоспособность.

Производство семян включает ряд технологических мероприятий: послеуборочное хранение, предпосевная обработка, обеззараживание, посев. На каждой стадии производства и хранения на семена возможно негативное влияние природно-климатических и хозяйственных факторов, которые снижают их качество. При неудовлетворительных условиях хранения или выращивания, семена теряют естественную всхожесть, заражаются болезнями, повреждаются насекомыми-вредителями или при механической обработке. Специалисты сельскохозяйственного производства и учёные постоянно ищут способы и средства для повышения посевных качеств семян, ведь увеличение урожайности путем стимуляции ростовых процессов и снижения поражения вредителями и болезнями экологически чистыми способами является важной задачей интенсификации производства сельскохозяйственной продукции. Именно поэтому часто выделяют предпосевную обработку семян как один из наиболее простых способов повышения качества посевного материала и увеличения урожайности культур. Затраты труда на проведение подобных мероприятий небольшие, а эффект может быть значительным.

Однако, следует учитывать, что эффективность предпосевной обработки семян в значительной мере зависит от тех условий, в какие они попадают. Чаще всего стимулирующие рост и развитие методы показывают аналогичные результаты при их использовании в различных условиях, но уровень их эффективности будет при этом значительно отличаться. В настоящее время разработано множество различных методов предпосевной подготовки семян.

Все методы предпосевной обработки семян условно разделяются на три класса:

- механические;
- химические;
- физические.

Механические методы подготовки семян (очистка, сортировка на фракции по плотности, размерам, электро-сепарация и т. д.) используются во всех без исключения системах, предваряя физические и химические методы воздействия.

К химическим методам относятся: замачивание в растворе микроэлементов, использование стимуляторов роста, осмообработка, протравливание, инкрустация. На сегодняшнее время существует широкий спектр химических средств, влияющих на урожай сельскохозяйственных культур. В большинстве случаев это сложные химические соединения устойчивые к внешним воздействиям (воздух, солнечное излучение, вода и пр.) и не разлагающиеся даже в течение многих лет. Эти химические соединения включаются в кругооборот веществ на планете и некоторые будучи смертельно опасными для человека и животных распространяются по всей биосфере. К тому же химические способы обработки семян имеют высокую себестоимость.

Физические методы предпосевной обработки семян классифицируются на: физико-механические; термические; радиационные; магнитные; фотоэнергетические; электрофизические.

Физико-механические методы предпосевной стимуляции семян включают:

- барботирование (обработку семян в воде кислородом или воздухом при температуре  $20 \pm 2$  °C);
- ультразвуковую обработку семян в воде;
- скарификацию (нарушение целостности оболочки семени).

Недостатками физико-механических методов предпосевной обработки семян являются: длительность процесса обработки; необходимость последующей сушки семян; низкая технологичность и трудоемкость процесса.

Термические методы предпосевной стимуляции семян включают:

- стратификацию (выдерживание семян при определенной температуре в течение длительного времени);
- обработку семян паром;
- воздействие на семена переменными температурами.

К недостаткам термических методов относят: длительность обработки от нескольких недель до нескольких месяцев; необходимость строго поддерживать заданную температуру.

Радиационные методы предпосевной стимуляции семян заключаются в обработке семян ионизирующими излучениями такими, как облучение альфа- и бета-частицами, ионами различных элементов и т.д. Однако, использование гамма и рентгеновского облучения опасно для жизни человека, а потому малоприспособно для эксплуатации в сельском хозяйстве.

Фотоэнергетические методы предпосевной стимуляции семян включают:

- обработку семян концентрированным светом;
- обработку семян импульсным концентрированным солнечным светом (ИКСС);
- обработку семян импульсным высокочастотным электрическим светом;
- лазерную обработку семян.

Недостатком фотоэнергетических методов предпосевной стимуляции семян является низкая производительность.

Весьма перспективным является способ предпосевной стимуляции семян в постоянном магнитном поле, однако данный метод все ещё не нашел достаточно широкого применения.

Наибольший интерес для получения экологически чистой продукции представляют электрофизические факторы предпосевого воздействия на семена, которые подразделяются на:

- обработку семян постоянным электрическим током;
- обработку семян в поле коронного разряда;
- обработку семян электромагнитными полями низких, средних и высоких частот;
- обработку семян электромагнитной энергией инфракрасного и ультрафиолетового спектров;
- обработку семян электромагнитными полями сверхвысокой частоты.

Анализ новейших мировых исследований и публикаций указывает на то, что в настоящее время широкое применение находят такие физические методы воздействия на семена, как лазер, ультрафиолетовое, инфракрасное и рентгеновское излучения, электромагнитные поля, ультразвук, озон. Популярность этих методов обусловлена тем, что их применение даже в широких масштабах не сопровождается загрязнением и отрицательным воздействием на окружающую среду. Также следует отметить, что благодаря наличию определенных преимуществ и достоинств, из всех вышеперечисленных электрофизических способов предпосевной обработки семян, наибольшие перспективы в производственном плане имеет способ обработки семян электромагнитными полями сверхвысокой частоты [5].

Разработано и предлагается к внедрению множество способов предпосевной обработки семян и устройств для их осуществления. Однако использование способов предпосевной обработки семян без должного на то

основания и тщательного анализа не дает существенного повышения посевных качеств семян и увеличения продуктивности культурных растений.

Природой изначально созданы совершенные способы сохранения своего потомства – посевной материал хорошо защищен от внешних воздействий. Реакция генотипа на предпосевную обработку в зависимости от уровня воздействия может быть разнообразной. В критических условиях семенной материал может погибнуть. В отдельных случаях могут произойти изменения генетической наследственности и создание новых разновидностей растений. Слабые воздействия приводят к изменению работы систем жизнеобеспечения семян и, в зависимости от направленности внешних воздействий и внутреннего состояния семян, привести к повышению или снижению жизненного потенциала прорастающих растений. Подобное взаимодействие определяется большим количеством факторов и на данном уровне развития науки его практически невозможно спрогнозировать. Нельзя с уверенностью утверждать, что какое-либо воздействие приводит к повышению качества посевного материала и дает гарантированное увеличение урожайности. Снижение продуктивности культурных растений от предпосевной обработки также вполне возможно.

С практической точки зрения необходимо точно понимать, когда и при каких условиях от предпосевной обработки можно получить увеличение урожайности, какие общие закономерности предопределяют реакцию семени на внешние воздействия. И только на основании этого создавать наиболее эффективные приемы предпосевной обработки семян.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мальтус Т. Исследование закона народонаселения. Киев: Основы, 1998. 535 с.
2. Глобальные проблемы современности и пути их решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <http://grandars.ru>. – Дата доступа : 24.02.2023
3. Астафьева, О.А. Продовольственная проблема как глобальная проблема человечества/ О.А. Астафьева, О.Н. Горбунова// Глобальные проблемы модернизации национальной экономики. Материалы III Международной научно-практической конференции (заочной). – 2014. – С.32-36.
4. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [пост. Совета Министров Республики Беларусь от 15 декабря 2017 г. № 962]. – Минск, 2009. – 25 с.
5. Вендин, С.В. Совершенствование технологии и средств термической обработки сельскохозяйственного сырья и продукции в электромагнитном поле. Отчет по НИИР / С.В. Вендин, В.С. Бурлаков. – Белгород, 2013.

## BENEFITS OF ECONOMIC ENTITIES THROUGH THE CO-COMBUSTION OF VARIOUS CLONES FROM THE SALIX SP. GENUS AND A MIXTURE OF DIFFERENT LIGNITE SAMPLES

## ПРЕИМУЩЕСТВА ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СУБЪЕКТОВ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПУТЕМ СОВМЕСТНОГО СЖИГАНИЯ КЛОНОВ ГЕНА СЕМЕЙСТВА ИВОВЫХ И СМЕСИ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАЗЦОВ БУРОГО УГЛЯ

**Jelena Urošević<sup>1</sup>, Filip Jovanović<sup>2</sup>, Vojin Tadić<sup>1</sup>, Goran Trivan<sup>3</sup>,  
Dragica Stanković<sup>3</sup>**

**Елена Урошевич<sup>1</sup>, Филип Йованович<sup>2</sup>, Вожин Тадић<sup>1</sup>, Горан Триван<sup>3</sup>,  
Драгица Станкович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Public Enterprise “Electric Power Industry of Serbia”, Balkanska 13, Belgrade  
[jelena.d.urosevic@eps.rs](mailto:jelena.d.urosevic@eps.rs), [vojin.tadic@eps.rs](mailto:vojin.tadic@eps.rs)

<sup>2</sup>Institute of Forestry, Kneza Višeslava 3, Belgrade  
[filip.a.jovanovic@gmail.com](mailto:filip.a.jovanovic@gmail.com)

<sup>3</sup>The University of Belgrade, Institute for Multidisciplinary Research, Kneza Višeslava 1, Belgrade  
[dstankovic@imsi.bg.ac.rs](mailto:dstankovic@imsi.bg.ac.rs), [gorantrivan@gmail.com](mailto:gorantrivan@gmail.com)

<sup>1</sup>Государственное предприятие “Электроэнергетика Сербии”, Балканска ул. 13, Белград

<sup>2</sup>Институт лесного хозяйства, Князя Вишеслава ул. 3, Белград

<sup>3</sup>Белградский университет, Институт междисциплинарных исследований,  
Князя Вишеслава ул. 1, Белград

Power generation depends to a great extent on the use of fossil fuels (lignite) in the Republic of Serbia. During the previous years, inadequate decisions on the development of energy and the operation of coal mines and thermal power plants led to a significant reduction in the power generation in coal-fired thermal power plants, and thus to the need to import part of the electricity. On its green road “Go Green Road” that leads to decarbonization, the Republic of Serbia



intends to significantly increase the use of renewable energy resources, which would compensate for the shortfall in the base portion of the daily load diagram, which threatens to be the greatest possible in the future. Due to economic reasons, the introduction of innovations is only acceptable to energy producers if it does not deviate significantly from mainstream technology, that is, if it is not necessary to invest too much in the reconstruction of already existing energy production facilities. The objective of this paper is to present the biomass energy potential of various willow clones that would be combusted, according to different percentage ratios, in a mixture of different coal samples taken from the Mining Basin Kolubara in the Public Enterprise “Electric Power Industry of Serbia”. White willow clone NS 73/6 (*Salix alba*) had the highest energy potential compared with other tested willow clones. From an economical point of view, it is more reasonable to select 5 % of the *Salix alba* NS 73/6 clone biomass, in the co-combustion process with lignite.

The paper is based on the principles of the circular economy, which would connect science and the economy by implementing scientific and research findings into the economy, all aimed at protecting and preserving the environment. By applying “green” technologies to the economy, the issue of protecting the environment can be solved through simultaneous revenue generation for economic entities.

В Республике Сербия выработка энергии зависит в значительной степени от использования ископаемого топлива (бурого угля). В течение предыдущих лет, необдуманные решения по развитию энергетики, работе угольных шахт и теплоэлектростанций привели к значительному снижению выработки электроэнергии на угольных теплоэлектростанциях. Таким образом, появилась потребность в импорте части электроэнергии. Согласно проекту “Go Green Road”, который нацелен на обезуглероживание, Республика Сербия намерена значительно увеличить использование источников возобновляемой энергии, которые могут компенсировать недобор части суточной нагрузки, что может стать возможным в будущем. По экономическим причинам внедрение инноваций приемлемо для производителей энергии только в том случае, если они не сильно отклоняются от основных технологий, то есть, если не нужно слишком много вкладывать в реконструкцию уже существующих объектов по производству энергии. Цель данной статьи представить энергетический потенциал биомассы различных клонов ивовых для сгорания, согласно процентному соотношению, в смеси различных образцов угля взятых из шахт бассейна Колубара государственного предприятия “Электроэнергетика Сербии”. Клон белой ивы NS 73/6 (*Salix alba*) показал самый высокий энергетический потенциал по сравнению с другими тестируемыми клонами ивы. С экономической точки зрения, более резонно выбрать 5 % биомассы клона *Salix alba* NS 73/6 при процессе сжигания с бурым углем.

Данная работа основана на принципах круговой экономики, которая объединяет науку и экономику путем внедрения научно-исследовательских разработок в хозяйстве, все это нацелено на защиту и сохранение окружающей среды. Применяя “зеленые” технологии в хозяйстве, вопрос защиты окружающей среды можно решить одновременно с приобретением выгоды для хозяйственных субъектов.

**Keywords:** Biomass, energy potential, plants, willows, soil, sustainable development.

**Ключевые слова:** биомасса, энергетический потенциал, растения, ивы, почва, устойчивое развитие.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-221-225>

**Introduction.** The Public Enterprise “Electric Power Industry of Serbia”, with the support of the Government of the Republic of Serbia, has embarked on the path of decarbonization, the «Go green road», and the use of biomass that would be used in co-combustion processes with lignite would benefit both PE EPS and environmental protection and preservation. The energy community treats biomass as carbon neutral, so if biomass and lignite were co-combusted to obtain energy, the amount of calculated CO<sub>2</sub> would be reduced, i.e. less payment of carbon taxes which will be present in the future because the co-combustion of biomass and coal contributes to the reduction of greenhouse gases.

Willows are characterized by a large number of species of various life forms, and usually, it is a tree, and they can be extremely tall up to 15 meters and up to 1 meter in diameter, although they can also look like a bush or a plant on the ground [1]. They grow mainly on flood plains, in river valleys, generally along rivers, or on marshy land.

The multiple benefits of reclamation would be achieved if energy plantings were created in this region using, at the same time, the given area would continue to “earn” through the production of biomass that would be used for power generation. These fast-growing woody plants, which are managed according to the principle of short treatment, have several characteristics suitable for the phytoremediation process, and among the most important are as follows: a strongly developed and branched root system, high biomass productivity, high intensity of transpiration, as well as genetic variability. These plantings are established from genetically improved clonal material, with a planting density of ~15000 plants/ha.

Biomass obtained from willows as a short rotation coppice (SRC) has an enviable energy potential because the heating value of willows can even reach 19 MJ/kg. Biomass obtained from willows, compared to coal, has almost no sulphur, contains lower amounts of ash and trace metals, and depending on the combustion regime and equipment, can result in lower NO<sub>x</sub> emissions. Rodzkin et al. (2016) point out that clones of *Salix alba* and *Salix dasyclados* species, as well as *Salix aurita* and *Salix dasyclados* hybrids, are good candidates for biomass production on degraded lands [2].

**Material and method of work.** It is necessary to apply the appropriate scientific and research methodology to implement the planned research and fulfil the set goals.



In this paper, 4 willow genotypes were investigated: one clone of “basket willow” - *Salix viminalis* and three clones (clone B-44, clone 347, and clone NS 73/6) of white willow – *Salix alba*. The plant material of the clones used comes from the nursery in the nursery-garden of War Island in Kać, which belongs to PC\* “Vojvodina Forests”, ŠG\*\* “Novi Sad”, ŠU\*\*\* “Kać”.

All the cuttings used for the research were approximately the same thickness and length. In 2019, a total of 1440 cuttings, 360 cuttings per clone, were planted in the bed of the Faculty of Forestry of the University of Belgrade.

After 3 years of cultivation, the willows were cut from the bed of the Faculty of Forestry of the University of Belgrade and transported to a warehouse where they were dried naturally for 2 months. After that, they are crushed and then ground in coal mills in the accredited laboratory for coal analysis in the MB Kolubara, Processing Plant, PE EPS.

The heating values of the mixture of 3 lignite samples with 4 willow clones were determined, in different proportions: 5%, 10%, 15% and 20% of the biomass. The first and second lignite samples were taken from two localities in the eastern part of the MB Kolubara and represent mixed samples from Field B/C and Field E. The third coal sample was taken from the western part of the Kolubara basin, at the Crushing Plant-Kalenić loading point, and represents mixed coal from Tamnava West Field and Field G. All three samples were blended into one representative.

The obtained data were processed using statistical methods, namely, numerical data were obtained by measuring the calorific value of three samples of coal and the biomass of four genotypes (clones), as well as by calculating the differences between the heating value of coal and the mixture of coal with the biomass of four genotypes (clones) of willow and were processed with descriptive and univariate statistical methods.

Descriptive statistics included the determination of the following parameters: sample size (N), mean value ( $\bar{X}$ ), minimum value (MIN), maximum value (MAX), standard deviation ( $\pm$ SD) and coefficient of variation (CV, %). Using the analysis of variance (ANOVA), as well as the post-hoc Fisher test of at least significant difference (LSD), differences between the caloric values of the examined coal samples and the biomass of the willow genotypes were tested. Analyses were preceded by data normality testing.

Statistical analyses were performed in the computer program Statgraphics Centurion v. XVI.I. (2009; Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, VA).

The analyses were made in the laboratory of the Processing Plant, MB Kolubara, PE EPS, on the calorimeter IKA 5003.

**Results and discussion.** Table 1 presents the statistical results of the heating values of all four analysed willow genotypes that were only air-dried.

The biomass of clone 1 (*Salix viminalis*) had the lowest mean caloric value, which was 17966.30 kJ/kg. In second place in terms of caloric value was clone 2 (*Salix alba* B-44) with a value of 18046.3 kJ/kg, followed by clone 3 (*Salix alba* 347) with 18237.6 kJ/kg. Clone 4 (*Salix alba* NS 73/6) is the clone with the highest average caloric value, which was 18246.8 kJ/kg. Mitić (2018) points out willows as the species that has found the greatest application in the economy precisely because of its wide ecological valence (resistance to extreme habitat conditions), with an average caloric value of 19300 kJ/kg of dry biomass [3].

In Table 1 it can be found that the minimum value was measured for clone 1 - (*Salix viminalis*), which was 17952.0 kJ/kg, while the maximum value had clones 3 (*Salix alba* - clone 347) and clone 4 (*Salix alba* – clone NS 73/6), each per 18274.0 kJ/kg. For the caloric value of the biomass of the studied genotypes, low values of the coefficient of variation were established (0.08–0.11%). According to the results of the analysis of variance (ANOVA), the mean values determined for the caloric value of the biomass of the four willow genotypes are statistically significantly different from each other ( $p = 0.0000$ ). Based on this, it can be concluded that the caloric value of willow biomass depends on the genotype and that clones 3 and 4 are characterized by the highest energy potential, and clone 1 the lowest. Kijo-Kleczkowska et al. (2016) point out that the caloric value of willow *Salix viminalis* is 16824 kJ/kg [4], while Karampinis et al. (2011) point out that the calorific value of willow without drying is on a “dry basis” 18410 kJ/kg [5].

Table 1

*Analysis of variance for the caloric value (kJ/kg) of willow genotypes biomass*

| Genotype (clone)             | N | $\bar{X}$  | $\bar{X}$ | MIN     | MAX     | SD    | CV, % | F      | p             |
|------------------------------|---|------------|-----------|---------|---------|-------|-------|--------|---------------|
| 1. <i>Salix viminalis</i>    | 9 | 17966.30 c | 18124.3   | 17952.0 | 17983.0 | 13.54 | 0.08  | 579,79 | <b>0.0000</b> |
| 2. <i>Salix alba</i> B-44    | 9 | 18046.30 b |           | 18028.0 | 18062.0 | 14.86 | 0.08  |        |               |
| 3. <i>Salix alba</i> 347     | 9 | 18237.60 a |           | 18209.0 | 18274.0 | 20.35 | 0.11  |        |               |
| 4. <i>Salix alba</i> NS 73/6 | 9 | 18246.80 a |           | 18209.0 | 18274.0 | 20.00 | 0.11  |        |               |

**Note:** Mean values with various letter designations within a column are statistically significantly different from each other at the 95% confidence level.

\* PC – Public Company

\*\* Forestry

\*\*\* Forest Administration

Based on the differences in the calorific value of coal and the mixture of coal and biomass of four willow clones (in the share of 5%, 10%, 15% and 20%), an overview of the results on the possibility of improving the calorific value of the tested coal with biomass is presented.

Table 2 provides the statistical results on the differences between the caloric value of various mixtures of coal and willow biomass according to the genotype (clone) and biomass share.

Table 2

*Analysis of variance for differences in the calorific value (kJ/kg) of coal and coal mixture with willow biomass according to genotype and biomass share*

| Clone, % of biomass and coal     | N | $\bar{X}$    | $\bar{X}$ | MIN   | MAX    | SD     | CV, % | F    | p      |
|----------------------------------|---|--------------|-----------|-------|--------|--------|-------|------|--------|
| I <i>Salix viminalis</i> -5%     | 9 | 440.22 f     | 669.56    | 175.0 | 647.0  | 169.39 | 38.48 | 3.54 | 0.0000 |
| I <i>Salix viminalis</i> -10%    | 9 | 672.22 bcdef |           | 488.0 | 899.0  | 145.38 | 21.63 |      |        |
| I -15%                           | 9 | 741.22 abcde |           | 381.0 | 1167.0 | 302.18 | 40.77 |      |        |
| I <i>Salix viminalis</i> -20%    | 9 | 824.56 abcd  |           | 379.0 | 1119.0 | 321.83 | 39.03 |      |        |
| II <i>Salix alba</i> B-44-5%     | 9 | 454.22 f     | 672.55    | 335.0 | 571.0  | 70.07  | 15.43 |      |        |
| II <i>Salix alba</i> B-44-10%    | 9 | 584.67 def   |           | -21.0 | 1059.0 | 443.47 | 75.85 |      |        |
| II <i>Salix alba</i> B-44-15%    | 9 | 839.89 abc   |           | 599.0 | 1099.0 | 184.49 | 21.97 |      |        |
| II <i>Salix alba</i> B-44-20%    | 9 | 812.22 abcd  |           | 271.0 | 1226.0 | 388.32 | 47.81 |      |        |
| III <i>Salix alba</i> 347-5%     | 9 | 460.78 f     | 686.19    | 393.0 | 599.0  | 66.92  | 14.52 |      |        |
| III <i>Salix alba</i> 347-10%    | 9 | 552.44 ef    |           | 303.0 | 783.0  | 178.71 | 32.35 |      |        |
| III <i>Salix alba</i> 347-15%    | 9 | 804.22 abcd  |           | 569.0 | 1027.0 | 173.36 | 21.56 |      |        |
| III 347-20%                      | 9 | 927.33 a     |           | 369.0 | 1294.0 | 393.76 | 42.46 |      |        |
| IV <i>Salix alba</i> NS 73/6-5%  | 9 | 640.89 bcdef | 750.36    | 494.0 | 779.0  | 94.61  | 14.76 |      |        |
| IV <i>Salix alba</i> NS 73/6-10% | 9 | 611.56 cdef  |           | 431.0 | 792.0  | 126.65 | 20.71 |      |        |
| IV <i>Salix alba</i> NS 73/6-15% | 9 | 864.89 ab    |           | 341.0 | 1187.0 | 351.86 | 40.68 |      |        |
| IV <i>Salix alba</i> NS 73/6-20% | 9 | 884.11 ab    |           | 449.0 | 1206.0 | 308.11 | 34.85 |      |        |

**Note:** Mean values with various letter designations within a column are statistically significantly different from each other at the 95% confidence level.

The mean values representing the differences in the calorific value of coal and the mixture of coal with willow biomass ranged from 440.22 kJ/kg (clone 1 with a biomass share of 5%) to 927.33 kJ/kg (clone 3 with a biomass share of 20 %) depending on the tested genotype (clone) and biomass share. The minimum value was recorded for the difference between the calorific value of coal and the coal mixture with 10% biomass of clone 2 and was -21.0 kJ/kg, and the maximum - for the difference between the calorific value of coal and the coal mixture with 20% biomass of clone 3 (1294.0 kJ/kg). Mean (10–20%), high (20–40%) or very high (>40%) values of the coefficient of variation were found for the calorific value of the differences between the coal and the examined mixtures of coal with biomass. According to the results of the analysis of variance (ANOVA), the mean values determined for the differences between the calorific values of coal and the mixture of coal and biomass of four willow genotypes are statistically significantly different from each other ( $p = 0.0000$ ). Based on the values of the arithmetic means of the means ( $\bar{X}$ ) we can conclude that the energetically most promising is clone 4 (*Salix alba* NS 73/6), and the least promising is clone 1 (*Salix viminalis*).

Based on the obtained results, it can be concluded that the improvement of the calorific value of coal with willow biomass depends on the proportion of biomass and genotype, so that coal mixtures with 15% or 20% of the biomass of each clone have the highest calorific value, and coal mixtures with 5% of the biomass of clones 1, 2 or 3 – is with the lowest caloric value. The exception is clone 4 (*Salix alba* – clone NS 73/6), for which it is necessary to indicate that the addition of only 5% of the biomass of this clone results in a significantly greater improvement in the calorific value of coal compared to the other investigated clones in the same proportion, which also indicates that clone 4 is the most energetically promising and that it is economically the most profitable to add 5% of the biomass of this clone to lignite to improve the calorific value.

## CONCLUSION

Good knowledge of the very plant species and their application in the economy represents a bridge that connects two seemingly incompatible sides - ecology and economy. Production and application of biomass that would co-burn with coal and improve its calorific value while simultaneously saving coal itself in the process of power generation, would reclaim the soil, reduce ash disposal costs, reduce carbon taxes, and reduce greenhouse gas emissions. All of the above presents the path of decarbonization to protect the environment.

It can be clearly concluded from all of the above that:

1. The caloric value of the mixture of coal and biomass, in addition to depending on the type of coal, also depends on the genotype and share of willow mass;
2. The basket willow, *Salix viminalis*, showed the lowest caloric potential compared to the white willow (*Salix alba*) genotypes examined;
3. Clone NS 73/6 of white willow, (*Salix alba*), showed the highest energy potential compared to other clones;
4. Although the results show that the calorific value of the mixture of coal and biomass increases with an increase in the biomass share, from an economic point of view, it is most convenient to choose 5% biomass of clone 4 (*Salix alba*, NS 73/6) for co-combustion processes with lignite.

## REFERENCES

1. Oljača, R., Rodzkin A., Krstić B., Govedar, Z. (2017): Physiology of willows, University of Banja Luka, 1-146.
2. Rodzkin, A. I., Orlović, S. S., Krstić, B.Đ., Pilipović, A. R., Shkutnik, O. A. (2016): The investigation of morphological characteristics of willow species in different environmental conditions. Matica Srpska Journal for Natural Sciences / Matica Srpska J. Nat. Sci. Novi Sad, 131: 63–72.
3. MITIĆ, N. (2018): Biomass-energy crops for power generation, a special review of the possibility of electricity production. Proceedings of the International Conference on Renewable Resources of Electricity – MKOIEE, Vol 1 (1), 227–234.
4. Kijo-Kleczkowska A., Środa K., Kosowska-Golachowska M., Musiał T., Wolski K. (2016): Combustion of pelleted sewage sludge concerning coal and biomass. Fuel 170, 141–160.
5. Karampinis E., Vamvuka D., Sfakiotakis S., Grammelis P., Itskos G., Kakaras E. (2011): Comparative Study of Combustion Properties of Five Energy Crops and Greek Lignite. | Energy Fuels, 26, 869–878.

# **АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ВНУТРЕННЕМ РЫНКЕ И В МИРЕ**

## **ANALYSIS OF TRENDS IN THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE DOMESTIC MARKET AND IN THE WORLD**

**Л. А. Липницкий, П. К. Шалькевич**  
**L. Lipnitski, P. Shalkevich**

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт  
имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
leanidbel@gmail.com*

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Будущее и развитие энергетического сектора является одной из важнейших проблем как внутренней, так и мировой политики. Увеличение использования возобновляемых источников энергии связано с новыми правовыми условиями, связанными с защитой окружающей среды. Эти изменения требуют разработки новой энергетической стратегии с учетом лимитов выбросов парниковых газов. В Беларуси разработан ряд важных документов, влияющих на структуру энергетического баланса страны. Беларусь взяла направление на увеличение доли энергии из возобновляемых источников в валовом конечном потреблении энергии. В статье представлены текущее потребление энергии в мире и в стране, правовые условия, учитываемые при формировании энергетического баланса, и прогнозы на спрос возобновляемой энергии.

The future and development of the energy sector is one of the most important issues of both domestic and world politics. The increase in the use of renewable energy sources is associated with new legal conditions related to the protection of the environment. These changes require the development of a new energy strategy, taking into account greenhouse gas emission limits. Belarus has developed a number of important documents that affect the structure of the country's energy balance. Belarus has taken the direction of increasing the share of energy from renewable sources in gross final energy consumption. The article presents the current energy consumption in the world and in the country, the legal conditions taken into account when forming the energy balance, and forecasts for the demand for renewable energy.

*Ключевые слова:* возобновляемые источники энергии, энергобаланс страны.

*Keywords:* renewable energy sources, energy balance of the country.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-226-229>

Будущее и развитие энергетики – одна из важнейших проблем как внутренней, так и мировой политики. Ограничение использования ископаемого топлива в энергетическом секторе является следствием новых правовых условий, связанных с защитой окружающей среды. Эти изменения требуют разработки новой энергетической стратегии.

В последние годы возобновляемые источники энергии (ВИЭ) увеличивают свою долю в европейском и мировом энергетическом балансе, конкурируя с углем, нефтью, газом и ядерной энергией. Кроме того, согласно отчетам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) в мире имеются богатые ресурсы возобновляемой энергии. Ожидается, что общий технический потенциал возобновляемой энергетики может превысить текущий мировой спрос на энергию до 100 раз. В зависимости от источника около 95 % этого потенциала приходится на солнечные технологии, т. е. солнечную фотоэлектрическую энергию (PV) и концентрированную солнечную энергию (CSP), и 2 % энергии ветра. Географически большая часть этого потенциала доступна в Африке (47%), Азиатско-Тихоокеанском регионе (23%) и на Ближнем Востоке (12%). Мировой спрос на энергию растет. Это связано с ростом экономики развивающихся стран, в то время как рост в странах, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), начинает стабилизироваться, но потребление энергии в них остается высоким. В 2016 году потребление было на уровне  $567 \cdot 10^{18}$  Дж, а к 2020 году увеличилось еще на 10%. При прогнозируемом постоянном росте энергопотребления энергетический сектор должен быть преобразован таким образом, чтобы свести к минимуму неблагоприятное воздействие на изменение климата и обеспечить достаточное количество энергии. Энергетический сектор Беларуси также претерпевает преобразования и должен увеличить долю возобновляемых источников энергии в ближайшие десятилетия.

После сокращения на 4,5 % в 2020 году на мировых рынках наблюдался рост энергопотребления на 5 % в 2021 году (рисунок 1).

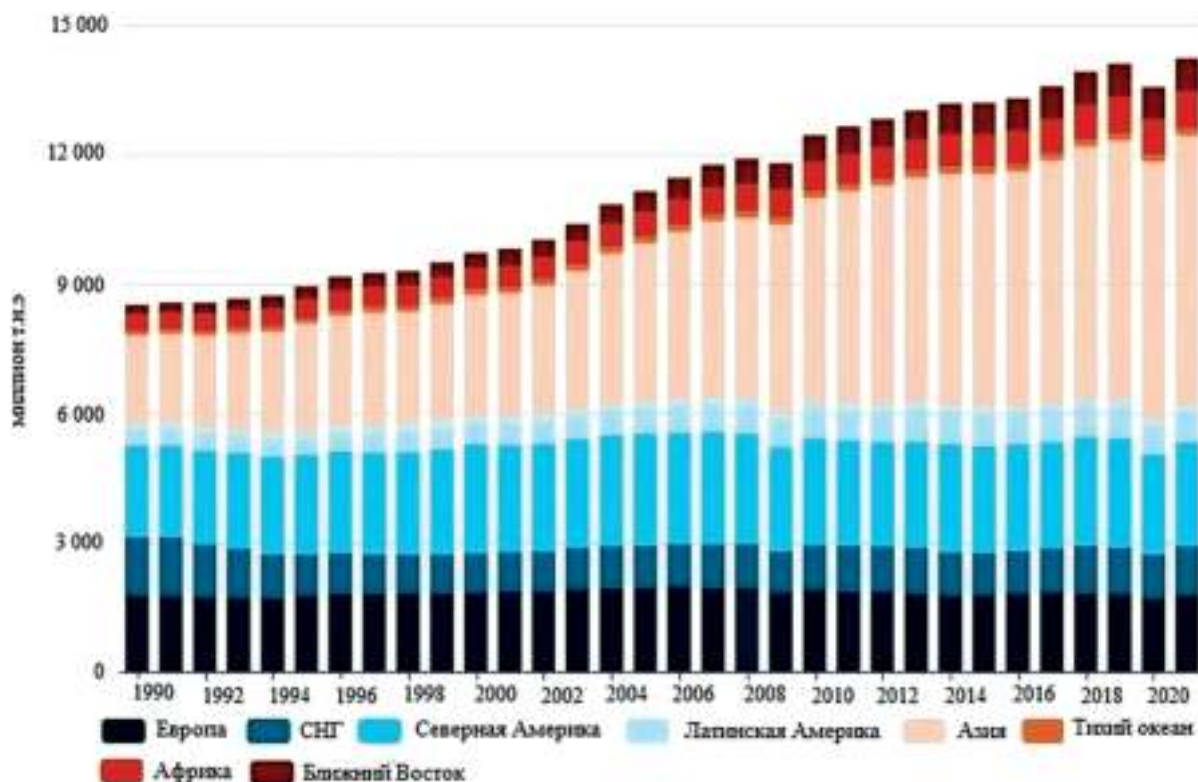


Рисунок 1 – Мировое энергопотребление за период 1990-2021 гг. в млн. т.н.э.

Мировое потребление энергии стимулировалось китайской экономикой, которая с 2009 года является крупнейшим потребителем энергии в мире. Потребление энергии в Китае удвоилось по сравнению с 2016 годом. Это произошло из-за высокого промышленного спроса, который компенсировал предшествующее трехлетнее низкое потребление энергии. На 2021 год доля Китая в мировом потреблении электроэнергии составляет 25%. Потребление энергии также увеличилось в большинстве азиатских стран, таких как Индия (постоянный рост с 2000 года), Индонезия, Малайзия и Южная Корея. Впервые с 2013 года рост произошел в Японии. Экономический рост также привел к увеличению потребления энергии в Европе (например, в Германии, Франции, Италии и Турции) и России. Рост остается стабильным в США, начиная с 2017 г.. Распределение потребляемой энергии между странами мира показано на рисунке 2.

| Единицы: млн. т.н.э. |       |
|----------------------|-------|
| Китай                | 3,652 |
| Соединенные Штаты    | 2,123 |
| Индия                | 927   |
| Россия               | 811   |
| Япония               | 400   |
| Бразилия             | 308   |
| Южная Корея          | 298   |
| Канада               | 289   |
| Германия             | 286   |
| Иран                 | 274   |
| Франция              | 235   |
| Индонезия            | 226   |

Рисунок 2 – Страны-лидеры по потреблению энергии в мире в млн. т.н.э.

2019 год стал одним рекордным периодом для развития возобновляемой энергетики. Этот год характеризовался самым большим увеличением возобновляемых мощностей в истории, снижением производственных затрат, увеличением инвестиций и достижений в передовых технологиях. Некоторые технологии возобновляемых источников энергии, такие как гидроэнергетика, биоэнергетика, геотермальная энергия и тепло, уже давно признаны основными и конкурентоспособными по стоимости источниками энергии. Фотоэлектрическая и ветровая энергия сейчас начинают конкурировать с мощностями по сжиганию ископаемого топлива. В 2019 году был замечен рост использования и производства возобновляемой энергии, особенно в энергетическом секторе. Однако



общая доля возобновляемой энергии в общем конечном потреблении энергии увеличилась не на много, в частности, для солнечной фотоэлектрической энергии и энергии ветра. Основной причиной этого незначительного увеличения стала интенсивность общего спроса на энергию, которая противодействует значительному развитию современных технологий использования возобновляемых источников энергии. Несмотря на эти изменения, энергетический сектор по-прежнему сталкивается со многими проблемами, одной из которых является неравномерный рост по секторам, как показано на рисунке 3.

|                                                                                   |                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|  | Отопление и охлаждение 48%<br>• ВИЭ 27% |
|  | Транспорт 32%<br>• ВИЭ 3%               |
|  | Электроэнергия 20%<br>• ВИЭ 25%         |

Рисунок 3 – Доля расходования энергии и доля возобновляемых источников энергии в отдельных секторах

Прогресс в секторе отопления, охлаждения и транспорта возобновляемой энергии все еще относительно медленный по сравнению с электроэнергетическим сектором. С 2015 года на сектор отопление и охлаждение приходилось 48 % энергопотребления, на транспорт – 32 % и на потребление электроэнергии - 20 %. Потребление тепла по-прежнему в значительной степени основано на ископаемом топливе, и только 10,3 % тепла, потребляемого во всем мире, поступает из современных возобновляемых источников и возобновляемой электроэнергии. Наибольшая доля отопления от возобновляемых источников связана с традиционным использованием биомассы, на которую приходится 16,4 %. Что касается транспорта, то подавляющее большинство мировых энергетических потребностей в этом секторе по-прежнему удовлетворяется за счет нефти с небольшой долей биотоплива (2,8 %) и электроэнергии (1,3 %, из которых 0,3 % возобновляемых источников энергии).

Процесс активизации использования энергии из возобновляемых источников в Европе начался в 1997 году. В 2001 году была принята Директиву 2001/77/ЕС по поддержке производства на внутреннем рынке электроэнергии, полученных из возобновляемых источников, определяя долю возобновляемых источников энергии в общем потреблении электроэнергии до 2010 года. Прорыв развития возобновляемой энергии произошел в марте 2006 года после публикации Зеленой книги. Тем не менее, эти положения были также проанализированы, потому вели к значительной энергетической зависимости от нефти и газа. В результате было решено, что потребление энергии будет уменьшено за счет ужесточения стандартов производства электрических устройств, увеличения популярности общественного транспорта и принятия ряда других решений, способствующих экономии энергии. Было решено, что к 2020 году уровень возобновляемой энергии в общем энергетическом балансе Европейского Союза составит 20 %, выбросы углекислого газа на 20 % снизятся по сравнению с 1990 году, а долю биотоплива в транспорте увеличится до 10 %. Был достигнут компромисс, что доля возобновляемых источников энергии достигнет 20 % на уровне всего Европейского союза и не будет идентична для всех государств-членов. При определении отдельных целей необходимо будет учитывать ситуацию энергетического потенциала отдельных стран.

Республике Беларусь, не обладающей в достаточной мере собственными энергоресурсами, важно отслеживать мировые тенденции по использованию возобновляемых источников и рациональному использованию имеющихся энергетических ресурсов. Одновременно надо учитывать местные особенности в области получения и расходования энергии в нашей стране. С учетом этого важен тщательный анализ и взвешенный подход к использованию различных способов получения энергии. Начиная с 1990-х годов в Беларуси ведется работа по созданию государственной системы поддержки альтернативных методов получения энергии. Была разработана законодательная база по развитию возобновляемых источников энергии. Были приняты ряд важных документов, среди которых Закон Республики Беларусь от 27.12.2010 №204-З «О возобновляемых источниках энергии», Указ Президента Республики Беларусь от 24 сентября 2019 г. № 357 «О возобновляемых источниках энергии», Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 06.08.2015 № 662 «Об установлении, распределении, высвобождении и изъятии квот на создание установок по использованию возобновляемых источников энергии», Постановление Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь от 03.09.2018 № 73 «О тарифах на электрическую энергию, произведенную из возобновляемых источников энергии». Последним важным документом в этой области является Закон «О регулировании отношений в сфере использования возобновляемых источников энергии». (№173-З 30.05.2022 г.). На данный момент в Беларуси имеются все необходимые условия для развития возобновляемых источников энергии.

Рост выработки энергии за счет возобновляемых источников за последние годы осуществляется достаточно высокими темпами. Отмечается положительная тенденция показателя «отношение объема производства первичной энергии из возобновляемых источников энергии к объему валового потребления топливно-энергетических ресурсов». Динамика производства энергии от возобновляемых источников в общем количестве поставляемой первичной энергии видна на рисунке 4. (<https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/g-energetika/g-4/>)

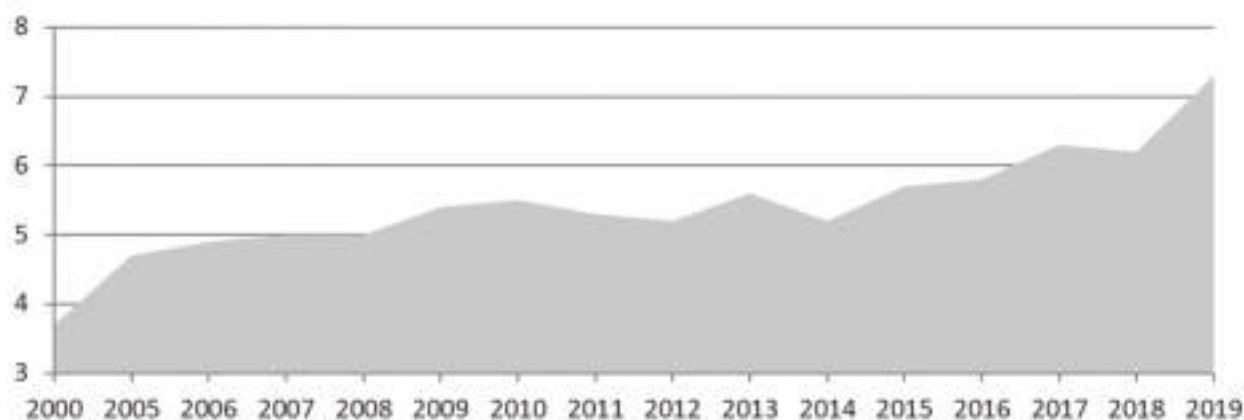


Рисунок 4 – Динамика производства энергии от возобновляемых источников в общем количестве поставляемой первичной энергии (процентов)

Несмотря на небольшой удельный вес энергии, получаемой за счет использования возобновляемых источников энергии в общем объеме производства, необходимо обратить внимание на рост этого показателя за последнее десятилетие. При этом в области ветроэнергетики количество поставляемой энергии выросло за период с 2011 по 2019 годы в 15,3 раза. В области солнечной энергетики этот показатель за период с 2014 по 2019 годы вырос в 15,6 раза. Энергия, получаемая с помощью биотоплива (биодизель и биогазы), с 2007 по 2019 годы выросла в 24,9 раза. Идет также наращивание энергетических ресурсов, получаемых за счет гидроэнергетики и энергии твердой биомассы. Общее количество энергии, получаемое за счет возобновляемых источников в Беларуси, составило в 2019 году 1890 кило т.н.э.

В рамках взятых на себя международных обязательств целях по сокращению выбросов парниковых газов к 2030 году в Беларуси с 2017 г началась разработка законодательных актов, программ и мероприятий, которые должны были стать основой Национального плана действий по энергоэффективности до 2030 года. Была создана межведомственная рабочая группа с участием ряда международных организаций, Департамента по энергоэффективности, Минэнерго, Минприроды и ряда других организаций. Главные положения плана были одобрены рабочей группой в 2020 году и представлен Департаментом по энергоэффективности в Совет Министров Республики Беларусь. Наряду с многочисленными мероприятиями, нацеленными на снижение расхода энергетических ресурсов и сокращения выбросов парниковых газов, были разработаны мероприятия по увеличению использования возобновляемых источников энергии и использованию отходов с целью получения энергии.

В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 г. отмечено, что энергетическая безопасность страны достигается за счет внедрения энергоэффективных технологий в традиционной энергетике, вовлечения в энергобаланс как ядерной энергии, так и использования возобновляемых энергоресурсов. Был определен объем выработки электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии на биогазовых и ветроэнергетических установках, гидроэлектростанциях, солнечных энергоустановках. Запланирован ввод ряда крупных объектов возобновляемой энергетики. Запланировано, что объем производства энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР к 2030 г должен составить 8%.

Возобновляемая энергетика в последние годы стала в мире и Беларуси самым быстро развивающимся видом получения энергии. Наметилась положительная тенденция показателя «отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к объему валового потребления топливно-энергетических ресурсов». Рост в 2018 году по сравнению с 2010-м в Беларуси составил 1,2 раза. Доля возобновляемых источников энергии в потреблении уже достигла запланированных к 2020 году 6%. К 2021 году намечено увеличить мощность генерации за счет возобновляемых источников энергии до 800 МВт. Чтобы гарантировать стабильный рост возобновляемых источников энергии в Беларуси должны быть приняты дополнительные меры для поощрения более широкого использования возобновляемых источников энергии в наиболее энергоемких отраслях: промышленности, жилищном секторе и транспорте. Такие дополнительные мероприятия необходимы для достижения планируемой доли возобновляемой энергии в 2030 г. вне зависимости от предполагаемого роста общего энергопотребления в ближайшие годы.

# ГИДРОАККУМУЛЯТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДОПОЛНЕНИЕ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

## HYDRAULIC ACCUMULATOR DEVICES AS A SUPPLEMENT FOR SOLAR PANELS

**Н. К. Толеубаев, Е. К. Толеубаев, Т. С. Каргабай, Д. К. Исмаилов,  
А. Ж. Мырзахан, А. Ж. Касым**

**N. K. Toleubayev, E. K. Toleubaev, T. S. Kargabay, D. K. Ismailov,  
A. Zh. Myrzakhan, A. Zh. Kasym**

*Специализированная школа-лицей интернат «Дарын» Караганда, Казахстан  
Specialized boarding school-lyceum "Daryn" Karaganda, Kazakhstan  
etadn1003@gmail.com*

Гидроаккумуляторное устройство является эффективным дополнением для солнечных панелей, позволяющим сохранять полученную энергию и использовать ее в необходимый момент. Устройство основано на использовании гидравлического насоса и гидроаккумулятора, которые обеспечивают надежное хранение энергии. Данное устройство не только увеличивает эффективность использования солнечной энергии, но и способствует сокращению затрат на энергопотребление, что делает его экономически выгодным решением для домашнего и коммерческого использования.

The accumulator device is an effective addition for solar panels, allowing you to save the received energy and use it at the right time. The device is based on the use of a hydraulic pump and a hydraulic accumulator, which provide reliable energy storage. This device does not only increase the efficiency of using solar energy, but also helps to reduce energy consumption costs, which makes it a cost-effective solution for home and commercial use.

*Ключевые слова:* Гидроэнергетика, гидроаккумулятор, системы зеленой энергетики, увеличение эффективности, резервное питание, смешанной системы зеленой энергетики.

*Keywords:* Hydropower, accumulator, green energy systems, efficiency increase, backup power, mixed green energy systems.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-230-233>

Гидроаккумулятор для дополнения солнечных панелей - это пример смешанной системы зеленой энергетики, которая комбинирует энергию, полученную от солнечных панелей, с гидроэнергией, полученной от нашего устройства. Солнечная энергия является одним из наиболее доступных источников энергии для нас, и солнечные панели представляют собой эффективный способ ее извлечения. Однако, энергия может быть произведена только в течение дня. В то время как гидроэнергия также является одним из чистых источников энергии, используемых для производства электроэнергии, которая получается из энергии потока или падения воды. Наш гидроаккумулятор использует эту энергию для того, чтобы продлить время работы солнечных панелей и обеспечить непрерывное производство электроэнергии. Более того, смешанные системы, такие как наш гидроаккумулятор, могут увеличить эффективность и надежность зеленой энергетики. Солнечная панель и гидроэнергия работают совместно, чтобы увеличить производительность и обеспечить непрерывный и стабильный источник энергии для потребителей. Такие системы также могут повысить экономическую эффективность зеленой энергетики, что в свою очередь может стимулировать развитие и использование экологически чистых технологий.

Устройство гидроаккумулятора для дополнения солнечных панелей имеет несколько преимуществ:

Увеличение эффективности использования солнечной энергии: солнечные панели вырабатывают энергию только в течение дня, когда есть солнце. Однако, благодаря гидроаккумулятору, производство электроэнергии может продолжаться и ночью, когда солнечная энергия недоступна. Это позволяет максимально использовать потенциал солнечной энергии и увеличивает общую эффективность энергосистемы.

Увеличение надежности энергосистемы: гидроаккумулятор может использоваться как резервное питание для солнечной энергосистемы в случае неожиданной недоступности солнечной энергии, например, из-за плохой погоды. Это увеличивает надежность и стабильность системы.

Низкая стоимость: гидроаккумуляторы являются одним из наиболее экономически эффективных способов хранения энергии. Кроме того, система гидроаккумулятора для дополнения солнечных панелей не требует сложного оборудования и дополнительных затрат на техническое обслуживание, что делает ее более доступной и экономически выгодной.

Экологическая чистота: использование гидроаккумулятора для дополнения солнечных панелей позволяет сократить использование ископаемых топлив, что способствует снижению выбросов парниковых газов и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду.

Универсальность: гидроаккумуляторы могут использоваться не только в комбинации с солнечными панелями, но и в сочетании с другими источниками энергии, например, ветряными турбинами. Это позволяет создать универсальную систему хранения и использования энергии, которая может быть применена в различных условиях и местах.

КПД (коэффициент полезного действия) солнечной панели зависит от нескольких факторов, таких как интенсивность солнечного излучения, температура и направление солнечных лучей, качество и угол установки панели и т.д. В среднем, КПД солнечной панели составляет около 15-20%, что означает, что из всей солнечной энергии, попадающей на панель, только 15-20% преобразуются в электрическую энергию. Наш гидроаккумулятор может использоваться для дополнения электрической энергии, производимой солнечными панелями в течение дня. Когда солнечная панель производит электрическую энергию, она заряжает аккумулятор, который затем используется для запуска гидроаккумулятора. Водный резервуар наполняется с помощью насоса, который работает от электрической энергии, производимой солнечными панелями. Когда устройство начинает работать, вода начинает постепенно опускаться, и при большом отливе воды турбина начинает свою работу, обеспечивая электрическую энергию в течение ночи, когда солнечная панель не работает. Эффективность работы гидроаккумулятора зависит от многих факторов, таких как глубина и объем водного резервуара, количество и мощность насосов и турбин, угол наклона турбины и т.д. КПД нашего устройства зависит от многих факторов включая объем воды в резервуаре, скорость потока воды, тип и размеры турбины, и т.д. Для примера, пусть у нас имеется гидроаккумулятор с резервуаром объемом 10 м<sup>3</sup>, который находится на высоте 20 м над турбиной. При полном наполнении резервуара, энергия, которую можно получить от турбины, может достигать 70-80 кВтч, что может быть достаточно для обеспечения энергией ночных потребностей дома. Таким образом, гидроаккумулятор является эффективным способом дополнения выработки энергии солнечных панелей и уменьшения зависимости от использования ископаемых видов топлива. При этом, решение об установке гидроаккумулятора должно быть принято с учетом конкретных условий местности и возможностей использования возобновляемых источников энергии.

Гидроаккумулятор для дополнения солнечных панелей может быть использован в разных местностях, где есть доступ к ресурсам солнечной и гидроэнергии. Ниже приведены некоторые примеры использования этого устройства:

В горных регионах с высоким уровнем осадков: В таких регионах гидроэнергия может быть легко получена из бегущих потоков и водопадов. Однако, во время засушливых периодов солнечная энергия может стать основным источником энергии. Гидроаккумулятор для дополнения солнечных панелей может быть использован, чтобы продлить время работы солнечных панелей и обеспечить непрерывную энергосистему.

В пустынных регионах с высоким уровнем солнечной радиации: В таких регионах солнечная энергия является наиболее доступным источником энергии. Однако, ночью или во время пасмурных дней солнечная энергия недоступна. Гидроаккумулятор для дополнения солнечных панелей может быть использован, чтобы хранить энергию, полученную от солнечных панелей в течение дня, и использовать ее в ночное время или во время пасмурных дней.

На островах: Острова, которые находятся далеко от сетей электропередачи, могут полагаться на использование возобновляемых источников энергии для своей энергосистемы. Гидроаккумулятор для дополнения солнечных панелей может быть использован, чтобы обеспечить электроэнергией островную экономику в течение всего дня и ночи.

На фермах: Фермерские хозяйства могут использовать гидроаккумулятор для дополнения солнечных панелей для обеспечения энергией насосов для орошения и обработки почвы. Это может помочь фермерам снизить свои затраты на электроэнергию и повысить эффективность производства.

Таким образом, гидроаккумулятор для дополнения солнечных панелей может быть использован в разных местностях для обеспечения непрерывной выработки энергии.

Для нашего экспериментального прототипа была использована плата Arduino в качестве основного управляющего блока, а также солнечная панель площадью 400 кв. см. и резервуар в форме водонапорной башни. Вода из резервуара поступает на турбину, установленную в большом резервуаре, в котором также находится насос, перекачивающий воду по трубам обратно в верхний резервуар. Программное обеспечение было написано таким образом, что при выработке энергии солнечной панелью насос запускается для наполнения верхнего резервуара, а когда солнечная панель перестает работать, клапан открывается и вода поступает на турбину, раскручивая ее. Таким образом, гидроаккумуляторы могут использоваться для сохранения избыточной энергии, производимой в периоды низкого спроса на электричество, а затем использоваться в периоды пикового спроса. С точки зрения экономии, гидроаккумуляторы могут помочь странам снизить свои затраты на производство электроэнергии. Например, они могут позволить странам производить электроэнергию в периоды, когда цены на энергию низкие, а затем продавать ее в периоды, когда цены высокие. Это может помочь снизить затраты на производство электроэнергии и увеличить доходы от ее продажи. Конкретное количество экономии, которое может быть достигнуто с помощью гидроаккумулятора, зависит от многих факторов, таких как стоимость электроэнергии, стоимость строительства гидроаккумулятора, его емкость и эффективность. Также, важно учесть экологические аспекты, такие как воздействие на природную среду и биоразнообразие.

Какова эффективность гидроаккумулятора в сравнении с другими формами хранения энергии? Гидроаккумуляторы считаются одним из наиболее эффективных способов хранения энергии, особенно при использовании их



в сочетании с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная и ветровая энергия. В сравнении с другими формами хранения энергии, такими как батареи, гидроаккумуляторы имеют следующие преимущества:

Гидроаккумуляторы могут хранить большие объемы энергии на длительный период времени.

Гидроаккумуляторы не имеют ограничений на количество циклов зарядки и разрядки, что означает, что они могут использоваться на протяжении многих лет без снижения эффективности.

Гидроаккумуляторы имеют высокую эффективность при конвертации энергии в хранение и обратно в электрический ток, что означает, что потери энергии минимальны. Однако, гидроаккумуляторы могут иметь высокую стоимость строительства и требуют наличия реки или водохранилища для их работы, что может быть ограничивающим фактором в некоторых регионах.

Использование гидроаккумуляторов имеет риски, которые можно разделить на технические, экологические и экономические: Технические риски: возможность прорыва гидроаккумулятора, что может привести к наводнениям и опасности для окружающей среды; повреждение системы гидроаккумулятора в результате естественных катастроф, таких как землетрясения или наводнения; поломки оборудования и необходимость в регулярном техническом обслуживании. Экологические риски: Изменение режимов водотоков: Для установки гидроаккумуляторов требуется создание водохранилищ, что может привести к изменению режимов водотоков и угрожать биоразнообразию рек и прилегающих территорий. Риск прорыва плотины: Плотины, удерживающие воду в гидроаккумуляторах, могут подвергаться риску прорыва, что может привести к катастрофическим последствиям для окружающей среды и жителей близлежащих территорий. Риск загрязнения воды: Гидроаккумуляторы могут использоваться в качестве систем для обработки и очистки воды, но при этом могут возникать риски загрязнения воды, если произойдут аварии, утечки или непредвиденные сбои. Потеря экосистем: Постройка гидроаккумуляторов может привести к уничтожению экосистем, таких как болота, леса и другие жизненно важные биомы. Воздействие на рыбные запасы: Установка гидроаккумуляторов может повлиять на миграции рыб и привести к уменьшению рыбных запасов. В целом, при использовании гидроаккумуляторов необходимо учитывать потенциальные риски для окружающей среды и разрабатывать соответствующие меры по их сокращению.

Гидроаккумуляторы могут представлять риск для здоровья, если они не используются или обслуживаются правильно. Например, если гидроаккумулятор неправильно установлен или используется в несоответствии с инструкциями, это может привести к его разрыву или пробое, что может привести к травмам и серьезным повреждениям. Также важно следить за качеством воды, которая используется в гидроаккумуляторе, чтобы предотвратить рост бактерий или других микроорганизмов. Если вода не поддерживается в правильном состоянии, то это может привести к развитию инфекций, которые могут повредить здоровью. Кроме того, гидроаккумуляторы могут содержать опасные химические вещества, такие как фреон или азотистый оксид, которые могут быть вредными для здоровья, если они вытекают из гидроаккумулятора. Поэтому необходимо следить за состоянием гидроаккумулятора и своевременно заменять его, если требуется.

Стоимость установки гидроаккумулятора к солнечной панели может сильно варьироваться в зависимости от разных факторов, таких как размер системы, тип и производительность гидроаккумулятора, местоположение, установка и монтаж системы и т.д. В среднем, установка гидроаккумулятора к солнечной панели может стоить от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч долларов, в зависимости от масштабов проекта и конкретных условий. Кроме того, в разных городах стоимость установки может быть различной из-за разных условий для строительства и разных цен на материалы и трудовые ресурсы. В целом, для получения более точной оценки стоимости установки гидроаккумулятора к солнечной панели в конкретном городе, следует обратиться к специалистам в этой отрасли.

В целом, использование гидроаккумулятора для дополнения солнечных панелей является перспективным направлением в развитии зеленой энергетики. Эта смешанная система может значительно уменьшить зависимость от ископаемых топлив и сократить выбросы вредных веществ в атмосферу. Более того, такая система может быть особенно полезна в регионах, где солнечная энергия не доступна круглый год, но есть реки или другие источники воды. С точки зрения экономики, использование таких смешанных систем может снизить затраты на производство электроэнергии и сделать ее более доступной для населения. В смешанных системах электроэнергия производится не только с использованием традиционных источников, таких как уголь, нефть и газ, но и с использованием возобновляемых источников, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергетика и другие. Такие смешанные системы позволяют более эффективно использовать энергетические ресурсы, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Более того, использование возобновляемых источников энергии может снизить зависимость от импорта нефти и газа из-за того, что эти источники располагаются на территории самой страны. Также использование смешанных систем может повысить стабильность и надежность энергоснабжения, так как возобновляемые источники энергии не зависят от колебаний цен на нефть и газ. Новые рабочие места в отрасли зеленой энергетики могут быть созданы в различных сферах, таких как производство, монтаж, обслуживание и техническая поддержка возобновляемых источников энергии. Это может быть особенно полезно для экономически развивающихся регионов, где необходимо создавать новые рабочие места. Таким образом, использование смешанных систем в энергетике может привести к снижению затрат на производство электроэнергии, уменьшению негативного воздействия на окружающую среду, повышению независимости от импорта нефти и газа, повышению стабильности и надежности энергоснабжения, а также созданию новых рабочих мест в отрасли зеленой энергетики.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие мировой гидроэнергетики <http://www.hydropower.ru/hydropower/development.php>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА

## CROP WASTE USING AS COMPOSITE FUEL COMPONENTS

**О. И. Родькин<sup>1</sup>, Е. В. Зеленуха<sup>2</sup>**

**A. Rodzkin<sup>1</sup>, A. Zelianukha<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
[aleh.rodzkin@rambler.ru](mailto:aleh.rodzkin@rambler.ru)

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь  
[z\\_elen80@mail.ru](mailto:z_elen80@mail.ru)

<sup>1</sup> International Sakharov Environmental Institute Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Проведены экспериментальные исследования по определению основных топливных свойств отходов растениеводства: влажности, зольности и теплоты сгорания. Среднее значение влажности анализируемых образцов составило около 10%, среднее значение зольности сухого топлива в несколько раз выше зольности древесного топлива, но, исходя из химического состава золы, она может использоваться в качестве минерального удобрения. Теплота сгорания анализируемых образцов достаточно высокая, что позволяет обосновать возможность их использования в качестве сырья для производства композитного топлива.

The experimental research for definition of the following basic fuel characteristics of agricultural waste were carried out: humidity, contents of ash, calorific value. The average humidity of the analyzed samples of fuel from waste was about 10% and average contents of ash were several times more compared with fuel from wood. The contents of chemical elements at the ash after firing enable it to use fuel from waste as mineral fertilizer for agricultural crops. The calorific value of fuel from agricultural waste is comparatively high and it means that it has good potential for composite fuel production.

**Ключевые слова:** отходы растениеводства, композитное топливо, теплота сгорания топлива, влажность, зольность топлива.

**Keywords:** crop waste, composite fuel, calorific value of fuel, humidity, ash content of fuel.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-233-236>

В условиях ограниченности топливно-энергетических ресурсов значительную роль для Республики Беларусь играет производство энергии из местных источников сырья. В соответствии с Государственной программой «Энергосбережение» на 2021-2025 гг. их доля должна составить не менее 16,5%. Это способствует наряду с использованием атомной энергии достижению нормативного уровня энергетической самостоятельности страны [1]. В данной работе рассматривается возможность использования отходов растениеводства (соломы рапса, льнокожухи, соломы зерновых культур) в качестве компонентов композитного топлива на основе торфа.

Рапс является одной из основных технических культур Республики Беларусь, которая в структуре посевных площадей технических культур занимает 67,2 %. Солома рапса является практически отходом сельскохозяйственного производства (растениеводства) и соответственно не требует дополнительных площадей и затрат для выращивания. В настоящее время данный отход в основном используется в качестве органического удобрения путем измельчения и заделки. В соответствии с [2] в Республике Беларусь наблюдается тенденция увеличения посевных площадей рапса. Так, в 2015 г. посевная площадь составляла 259 тыс. га, а в 2020 г. - 364 тыс. га. Валовой сбор рапса в хозяйствах всех категорий республики в период с 2015 г. по 2020 г. увеличился на 47,7 % и составил 731 тыс. т. Также наблюдается рост урожайности рапса с 15,7 ц/га в 2015 г. до 20,6 ц/га в 2020 г. При сохранении таких показателей можно рассматривать возможность использования части соломы рапса в качестве топлива или компонента композитного топлива.

Также технической культурой Беларуси является лён. По объемам производства льноволокна Беларусь входит в число первых пяти стран мира из 26 его производящих. В соответствии с [2] в Республике Беларусь наблюдается тенденция увеличения посевных площадей льна. Так, в 2015 г. посевная площадь составляла 45 тыс. га, а в 2020 г. - 49 тыс. га. Валовой сбор льна в хозяйствах всех категорий республики в период с 2015 г. по 2020 г. увеличился на 14,5 % и составил 48 тыс. т.

С учетом природно-климатических и хозяйственных условий нашей страны перспективными для биоэнергетики культурами являются также зерновые и зернобобовые культуры. В Республике Беларусь площадь пашни, занятой под зерновыми культурами, за последнее десятилетие остается достаточно стабильной, а средний валовой сбор зерна в стране приближается к 8-9 млн. т, что соответствует производству приблизительно 9-10 млн. т соломы [2]. Возможность выделения определенных объемов соломы в качестве биотоплива зависит от ряда факторов, и это количество является нестабильным. Потенциальный объем использования соломы в качестве биотоплива на региональном уровне определяется на основе расчета балансового метода с учетом ее применения на другие цели. В аграрном секторе солома используется как источник корма для животноводства, для производственных целей (укрытие буртов, утепление ферм и т.д.), в качестве удобрения. Основной объем соломы используется в животноводстве в качестве подстилки и для производства органических удобрений. Возможный объем использования соломы на энергетические цели в рамках конкретного хозяйства может быть установлен после соответствующего экономического обоснования. Существует ряд технологий, которые используются в сельскохозяйственном производстве для сбора и транспортировки соломы. Для энергетических целей эффективной является технология прессования соломы в тюки или рулоны с дальнейшей транспортировкой к месту хранения и доработкой.

Эффективность использования отходов растениеводства в качестве компонента композитного топлива зависит от следующих топливных свойств: теплоты сгорания, определяющей энергетическую ценность ресурсов, влажности, зольности, химического состава. В связи с этим в работе проведены экспериментальные исследования по определению данных характеристик.

Определение влажности анализируемых образцов проводилось основным методом в соответствии с методикой [3]. Сущность метода заключается в высушивании пробы в сушильном шкафу с электрическим обогревом при температуре 105°C-110 °C и определении потери массовой доли влаги. Предварительно все пробы анализируемого сырья были измельчены до 1-2 см.

Определение зольности проводилось основным методом в соответствии с [3] в муфельной печи путем озоления навески с пробой и прокаливанием зольного остатка в тиглях.

Определение теплотворной способности проводилось калориметрическим методом в соответствии с [4]. Калориметрический эксперимент по сгоранию топлива происходит в измерительной камере, состоящей из внутреннего сосуда, мешалки, обеспечивающей равномерное распределение тепла во внутреннем сосуде, водяного цикла с нагревающим элементом для выравнивания температуры и автозаполнения внутреннего сосуда, температурного датчика для регистрации значений эксперимента, прибора подачи кислорода в сосуд разложения. При проведении эксперимента сосуд разложения с образцом погружается во внутренний сосуд. Для оптимизации процесса горения в сосуд разложения поступает чистый кислород до заданного давления (3 МПа). Внутренний сосуд заполняется водой рабочей температуры 25-30 °C, которая поддерживается в постоянном движении магнитной мешалкой. Образец топлива зажигается посредством электричества от медной проволоки, зафиксированной на зажигательной проволоке. Измеряется возрастание температуры в калориметрической системе. Фазы измерительного прибора отслеживаются с помощью измерительной программы. Далее вычислялась общая теплотворная способность образца исходя из значений веса образца, теплоемкости калориметрической системы и возрастания температуры воды в сосуде измерительной камеры.

Результаты определения топливных свойств анализируемых образцов отходов растениеводства приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Результаты определения топливных свойств анализируемых образцов отходов растениеводства*

| Наименование анализируемой пробы | Влажность, % | Зольность на сухое состояние, % | Низшая теплота сгорания аналитической пробы, кДж/кг | Низшая теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг |
|----------------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Льнокостра                       | 9,10         | 2,2                             | 16800                                               | 16610                                            |
| Солома рапса                     | 10,80        | 4,6                             | 15580                                               | 15740                                            |
| Солома зерновых                  | 11,20        | 6,1                             | 15170                                               | 15400                                            |

Как видно из таблицы 1, среднее значение влажности анализируемых образцов отходов растениеводства составило: для льнокостры – 9,1 %, для соломы рапса 10,8%, для соломы зерновых 11,2 %, т.е. порядка 10 %. Среднее значение зольности сухого топлива данных анализируемых образцов в несколько раз выше зольности древесного топлива (древесных опилок, пеллет). Однако, исходя из химического состава золы, она может использоваться в качестве минерального удобрения. Низшая теплота сгорания аналитической пробы для льнокостры

составила 16800 кДж/кг, для соломы рапса и соломы зерновых 15580 кДж/кг и 15170 кДж/кг соответственно. Теплота сгорания анализируемых образцов достаточно высокая, что позволяет обосновать возможность их использования в качестве сырья для производства композитного топлива. При определении низшей теплоты сгорания рабочего топлива влажность рабочего топлива для всех образцов анализируемого сырья была принята 10%.

На величину теплотворной способности оказывают влияние не только технические характеристики топлива, например, влажность, но и состав композитного топлива. В связи с этим, в работе проведены экспериментальные исследования по определению изменения теплоты сгорания композитного топлива на основе торфа с добавлением отходов растениеводства. Изменение теплоты сгорания топлива при добавлении соломы зерновых к торфу представлено на рисунке 1.

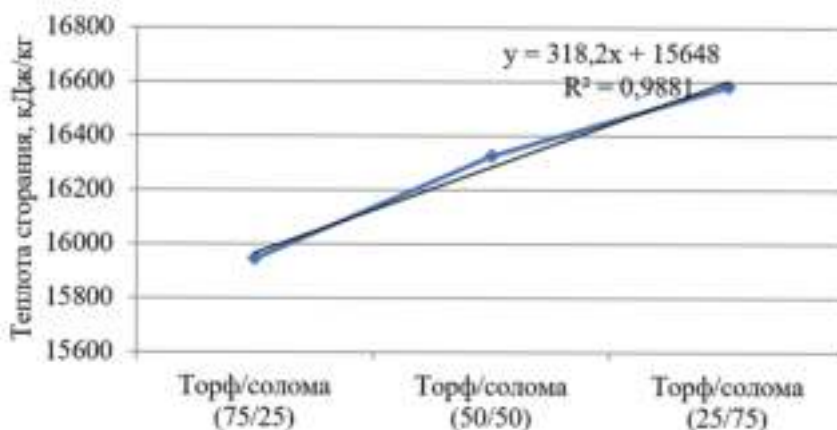


Рисунок 1 – Изменение теплоты сгорания топлива при добавлении соломы зерновых к торфу

Экспериментально установлено, что изменение величины низшей теплоты сгорания композитных образцов с учетом их состава имеет линейную зависимость. Далее расчетным путем определено изменение теплоты сгорания композитного топлива, базовым компонентом, которого выбран торф со следующими техническими характеристиками: влажностью – 20% и низшей теплотой сгорания рабочего топлива – 13,68 МДж/кг. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Теплота сгорания композитного топлива на основе торфа с различным содержанием отходов растениеводства, МДж/кг

| Наименование отходов растениеводства | Содержание отходов растениеводства в композитном топливе на основе торфа, % |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                      | 20                                                                          | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    |
| Льнокостра                           | 14,27                                                                       | 14,56 | 14,85 | 15,14 | 15,43 | 15,72 | 16,01 |
| Солома рапса                         | 14,06                                                                       | 14,25 | 14,44 | 14,63 | 14,82 | 15,01 | 15,20 |
| Солома зерновых                      | 14,02                                                                       | 14,20 | 14,37 | 14,54 | 14,71 | 14,88 | 15,06 |

В соответствии с данными, представленными в таблице 2, величина низшей теплоты сгорания композитных образцов выше, чем у чистого торфа.

При добавлении отходов растениеводства к торфу также изменяется и удельный расход топлива на производства тепловой энергии. Результаты расчета удельного расхода композитного топлива с различным содержанием отходов растениеводства на производство 1 Гкал тепловой энергии приведены в таблице 3.

Таблица 3

Удельный расход композитного топлива на основе торфа с различным содержанием отходов растениеводства, кг/Гкал

| Наименование отходов растениеводства | Содержание отходов растениеводства в композитном топливе на основе торфа, % |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                      | 10                                                                          | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  |
| Льнокостра                           | 300                                                                         | 294 | 288 | 282 | 277 | 272 | 267 | 262 |
| Солома рапса                         | 302                                                                         | 298 | 293 | 289 | 285 | 281 | 277 | 274 |
| Солома зерновых                      | 303                                                                         | 299 | 295 | 292 | 288 | 285 | 282 | 278 |

Как видно из таблицы 3, при добавлении отходов растениеводства к торфу наблюдается тенденция снижения удельного расхода топлива на производство тепловой энергии. Так, увеличение содержания отходов растениеводства: льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых в композитном топливе от 10% до 50% приводит к уменьшению расхода топлива на 7,7%, 5,6% и 4,9% соответственно.

В работе также проведены исследования по определению способности к прессованию льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых и торфа с целью получения композитных топливных брикетов. Получение экспериментальных образцов композитных топливных брикетов осуществлялось на лабораторном прессе ПСУ-125. Механический процесс прессования исходного сырья на прессе ПСУ-125 осуществлялся в специальной пресс-форме, состоящей из цилиндрической матрицы и штемпеля. Процесс прессования всех видов исходного сырья производился в матрице, диаметр которой составлял 35 мм, а высота – 100 мм. Перед прессованием отходы растениеводства подвергались дроблению, а затем производилось взвешивание исходного сырья. Масса навески материала, засыпаемого в матрицу для получения композитных брикетов (торф – льнокостра, торф – солома рапса, торф – солома зерновых) включала 5 г торфа и 5 г отхода растениеводства. Проведенные экспериментальные исследования по брикетированию показали, что льнокостра, солома рапса, солома зерновых обладают способностью к прессованию для получения топливных брикетов, как в чистом виде, так и в качестве компонента композитного топлива.

Результаты определения основных топливных свойств: влажности, зольности, а также теплоты сгорания позволяют обосновать возможность использования отходов растениеводства (льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых) в качестве компонентов композитного топлива. Они обладают достаточно высокой теплотворной способностью, невысокой влажностью (до 25%). При добавлении данных компонентов к торфу теплота сгорания композитного топлива выше, чем у чистого торфа. Увеличение содержания отходов растениеводства: льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых в композитном топливе от 10% до 50% приводит к уменьшению удельного расхода топлива при производстве тепловой энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. Утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 г. №103.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. – Мн., 2021. – 179 с.
3. СТБ 2042-2010 Торф. Методы определения влаги и зольности.
4. ГОСТ 147-2013 Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания. – М., 2019. – 52 с.
5. Казаченко Г.В. Горные машины. В 2 ч. Ч. 2. Машины и комплексы для добычи полезных ископаемых / Г.В. Казаченко, В.Я. Прушак, Г.А. Басалай: под общ. ред. В.Я. Прушака. – Минск, Вышэйшая школа, 2018. – С. 197–224.

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ВИДОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

### THE PRACTICAL EXPERIENCE AND ESTIMATION OF PERSPECTIVE FOR INTRODUCTION OF INNOVATIONAL SOURCES OF RENEWABLE ENERGY IN BELARUS

**Х. Броцкий<sup>1</sup>, Г. Э. Мазейко<sup>1</sup>, О. И. Родькин<sup>2,3</sup>**

**H. Brocky<sup>1</sup>, G. Mazeyko<sup>1</sup>, A. Rodzkin<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Ляховичская вербочка», Брестская область, Беларусь

*gromisk@interia.pl, gmazeyko@mail.ru,*

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

*aleh.rodzkin@rambler.ru*

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>LLC “Lyahovichskaya verbochka”, Brest region, Republic of Belarus

<sup>2</sup> International Sakharov Environmental Institute Belarusian State University, ISEU BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

Одним из перспективных направлений для развития и внедрения новых источников возобновляемой энергетики является выращивание быстро растущей энергетической ивы рода *Salix*. Предприятие ООО «Ляховичская вербочка» является первым в стране ориентированным на производство быстрорастущих

древесных энергетических культур на основе ивы. Предприятие существует с 2017 года и площади плантации ивы, в том числе на основе отечественных сортов превышают 150 гектаров. По результатам наших исследований и практического опыта можно сделать выводы о значительных перспективах и возможности для более широкого внедрения плантаций ивы в Республике Беларусь. Такой подход предполагает расширение сфер ее использования с учетом биологических и экологических аспектов.

One of the promising areas for the development and implementation of new sources of renewable energy is the cultivation of a rapidly growing energy willow of the genus *Salix*. LLC “Lyahovichskaya verbochka”, is the first enterprise in the country focused on the production of fast-growing woody energy crops based on willow. The enterprise has existed since 2017 and the plantation area of willow, including those based on domestic varieties, exceeds 150 hectares. Based on the results of our research and practical experience, we can draw conclusions about significant prospects and opportunities for a wider introduction of willow plantations in the Republic of Belarus. This approach involves expanding the scope of its use, taking into account biological and environmental aspects.

**Ключевые слова:** энергетическая ива, теплота сгорания топлива, экономика, экологические аспекты, биологические аспекты.

**Keywords:** energy willow, calorific value of fuel, economy, environmental aspects, biological aspects.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-236-240>

Актуальной задачей, стоящей перед государством, является сокращение потребления слишком дорогого импортного топлива – природного газа и нефти – и поиск собственных альтернативных возобновляемых источников энергии с одновременным решением экологических проблем и развитием энергосберегающих технологий.

Целью развития новых видов возобновляемой энергетики на базе нашего предприятия является выращивание быстро растущей энергетической ивы рода *Salix*. Это предполагает производство биомассы и саженцев для дальнейшего размножения, реализацию продукции на внутренних рынках Беларуси организациям и физическим лицам, экспорт продукции в другие страны. Такой подход соответствует реализации Указа Президента Республики Беларусь от 18 мая 2015 года № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии» [1].

Для реализации вышеназванных задач в июле 2017 года было создано первое в Республике Беларусь предприятие ориентированное на производство быстрорастущих древесных энергетических культур ивы – ООО «Ляховичская вербочка». Предварительно были проведены согласования с Министерствами сельского и лесного хозяйства, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и другими государственными учреждениями Республики Беларусь, на предмет соответствия действующим нормативным правовым актам.

Ивовые плантации предприятия располагаются на площади свыше 150 га, в Ляховичском районе, Брестской области на низко продуктивных, торфяных, заболоченных землях, засоренных многолетними сорняками, кустарниками, деревьями. Для закладки плантаций использован посадочный материал сортов ивы белой (*Salix alba*) сербско-белорусской селекции и шведских сортов ивы корзиночной (*Salix viminalis*). В Государственный Реестр сортов Республики Беларусь уже включены три сорта (Бачка, Волмянка и Дрина) созданные совместно сербскими и белорусскими селекционерами [2]. Эти сорта, как показали наши результаты, не уступают, а даже превосходят по продуктивности сорта западноевропейской селекции. Предприятие планирует дальнейшее размножение преимущественно отечественных сортов ивы, что позволит значительно снизить себестоимость посадочного материала и сделать выращивание древесины более рентабельным производством в будущем.

В зависимости от места произрастания и способа выращивания ива является одновременно культурным (сельскохозяйственным) растением и природным (лесным). Ива представляет собой не один вид, а целое семейство растений, представленное кустарниковыми и древесными формами, от одного метра до нескольких (более 10) метров высоты. Плантации на основе ивы перерабатывает солнечную энергию в энергию биомассы, и одновременно являются эффективным генератором и аккумулятором энергии.

Понятие энергетической ивы появилось в 90 годах XX века в связи с ее основным способом использования в энергетике. Однако, цель выращивания и значение быстрорастущей энергетической ивы должно быть определено значительно шире с учетом многих аспектов: биологических, технологических, утилитарных и экономических.

Биологический аспект заключается в том, что сорта быстрорастущей, энергетической ивы являются результатом отбора и формирования многих ее разновидностей с разными сортовыми качествами с целью получения эффекта с ожидаемыми параметрами, такими как:

- высокая динамика годового прироста биомассы;
- стабильность этого прироста во времени;
- хорошая адаптация к различным условиям (почвенным и климатическим);
- высокий иммунитет к болезням и вредителям;
- упрощенная технология выращивания;
- возможность использования универсальных сельскохозяйственных машин;
- низкая потребность в минеральных и органических удобрениях;
- низкое использование пестицидов в период эксплуатации плантации;
- нейтральное или даже позитивное влияние на окружающую среду.



Эти характеристики обуславливают низкие затраты на выращивание ивы, а значит и высокую конкурентоспособность по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами и другими видами топлива при энергетическом использовании биомассы.

И быстрорастущая энергетическая ива в значительной степени соответствует таким требованиям. Получены сорта растений ивы, прирост которых на пике вегетативного сезона составляет от 3 до 5 см в течение суток и 2-3 метра в течение вегетационного сезона. Достигнута производительность 60 тонн с га/год, которая остается стабильной на протяжении 25-30 лет [3]. Эти показатели, конечно, зависят от климата, состава почвы и применяемых технологий.

Ива принадлежит к растениям умеренного климата, ее выращивают в таких странах как: Франция, Япония, Финляндия, Греция, Польша, США, Канада, Австралия и Новая Зеландия и т.д. Растет она и в горных районах Гималаев, на низких землях Голландии, на песчаных почвах Швеции, на глинистых почвах Германии и на торфяниках Украины [4].

Пластичность ивы позволяет успешно выращивать ее на деградированных почвах, где невозможно выращивание других сельскохозяйственных культур. Площадь таких территорий составляет около 40 млн га в России, и около 1 млн га в Беларуси. И это является огромным потенциалом по сравнению с доступными и очень ограниченными территориями для выращивания ивы в странах Евросоюза.

В настоящий момент основной областью применения ивы является энергетика, что обусловлено высокой удельной теплотой сгорания биомассы. Теплотворная способность древесины ивы при влажности около 50 % составляет 9 GJ/t, что соответствует условиям сгорания "прямо с поля" и зависит от технологии уборки и сроков поставки в котельные установки. Биомасса ивы в качестве сырья для производства энергии на энергетических установках может быть использована в виде:

- прутьев – срезанных при помощи пил, кос, косилок и сноповязалок;
- тюков – собранных при помощи гибрида косилки и прессы или «биобэйлера»;
- измельченной биомассы – при уборке комбайном для сахарного тростника;
- щепы – срезанной при помощи разнообразных адаптированных комбайнов на базе машин используемых для уборки кукурузы на силос.

Технология уборки обуславливается необходимостью использования определенного сырья для конкретных котельных установок. В настоящее время, все чаще используются гибридные инсталляции, которые одновременно производят и тепловую, и электрическую энергию, что значительно повышает их экономическую эффективность.

Высокая экономическая эффективность выращивания ивы так же является результатом возможности использования органических удобрений на основе сточных вод из коммунальных очистительных сооружений и золы из котельных установок, что запрещено для сельскохозяйственных культур используемых на продовольственные цели.

Непосредственное использование ивы для энергетических целей исходит из возможности переработки ее на следующие виды топлива:

- твердое – пеллеты, брикет, древесный уголь,
- жидкое – биоэтанол, бутанол,
- газообразное – газ синтетический, являющийся замещением природного газа и LPG, а так же газ ферментационный.

Калорийность биомассы энергетической ивы можно сравнить с калорийностью природного газа или нефти и нефтепродуктов, а также с каменным углем. Калорийность сухой древесины ивы составляет около 19 GJ/t, а свежесрезанной или прямо с поля около 9-9,5 GJ/t (подобную калорийность имеет торф).

Одна тонна свежей энергетической ивы по удельной теплоте сгорания соответствует:

- 0,240 т мазута;
- 250 м куб природного газа;
- 0,4 т каменного угля.

Ива является сырьем климатически нейтральным в аспекте получения энергии, что является более ценным для возможности ее использования в следующих видах производства:

- в целлюлозо-бумажном – для производства бумаги различного назначения;
- в упаковочном – ящики, корзины;
- в мебельном – плетеная мебель, плиты ДСП, МДФ;
- в химическом – бутанол и биогаз, а также различные продукты данного происхождения;
- в легкой промышленности для производства вискозы;
- в обувной промышленности – для обработки кожи;
- в фармацевтической – не только для получения аспирина, но также сотен видов различных лекарств для лечения десятков болезней.

Быстрорастущая ива при использовании на энергетические цели может в перспективе заменить лесную древесину и торф, за счет высокой урожайности и темпов роста. Торф образуется несколько сот лет, лес вырастает в течение нескольких десятков лет, а энергетическую иву можем собирать уже через 3-4 года. После срезки энергетическая ива регенерируется и отрастает, что значительно упрощает ее возделывание. После однократной

посадки плантацию можно эксплуатировать в течение 25-30 лет. Ива есть сырье абсолютно возобновляемое, а сэкономленную лесную древесину можно использовать на более выгодные для экономики цели.

Ива нуждается в гербицидах только в процессе посадки и первоначального роста, не дольше чем второго года выращивания, что значительно уменьшает воздействие на почву по сравнению с однолетними энергетическими культурами. Сжигание биомассы энергетической ивы генерирует столько парниковых газов (в том числе перекиси водорода) сколько потребляет в течение периода роста. Это значит, что мы получаем сырье климатически нейтральное, и, заменяя природный газ и нефть в процессе сжигания древесины, косвенно уменьшаем выброс парниковых газов.

Новой областью использования энергетической ивы является употребление ее биомассы в качестве корма для скота. Использование листьев и веток древесных и кустарниковых видов ивы в качестве корма для сельскохозяйственных животных практиковалось еще во времена СССР. В настоящее время во всем мире этот подход все чаще находит новое применение. Для кормления животных непосредственно используют свежую сечку из биомассы ивы, а так же силос после его переработки, в качестве добавки или как комплексный корм. По калорийности такой корм приравнивается к традиционным видам, зачастую превышая последние содержанием некоторых полезных составляющих.

Биомасса ивы может использоваться в качестве корма, например для:

- коз – улучшается их общее состояние и молочность;
- овец – происходит улучшение качества шерсти (руна), ягнята лучше растут,
- молочных коров – увеличивается молочность, уменьшается использование антибиотиков, что положительно отражается на качестве молока и молочных продуктов;
- мясного скота – прирост веса, улучшение общего состояния и товарной зрелости. Добавление ивы в корма КРС позволяет уменьшить на 30-50% выделение парниковых газов в атмосферу.

Следует упомянуть, что ивой могут питаться и дикие животные: косули, олени, лоси, дикие свиньи и зубры. Поэтому сегодня в зоопарках иву используют как добавку к корму. В ветеринарии используют иву для лечения артрита у животных. Использование ивы для птицеводства снижает потребность в антибиотиках, оказывая положительное влияние на качество мяса и несущую способность кур.

Важным фактором является раннее весеннее цветение ивы, что имеет особое значение для пчеловодства. По оценкам экспертов пчелы могут собрать до 100 кг нектара с 1 га плантации ивы.

При этом выращивание ивы на промышленных плантациях является экологически целесообразным по следующим причинам:

- срок эксплуатации плантации без снижения продуктивности ивы составляет не менее 7 уборочных циклов, то есть 22 года. При этом средства защиты растений (гербициды) вносятся только при закладке плантации. Основной объем внесения минеральных удобрений также вносится при закладке плантации. Дополнительное внесение может осуществляться локально при необходимости, но не чаще чем 1 раз за трехлетний период. Теплоотдача при сгорании щепы полученной с плантаций ивы древесины в котлах составляет – 4500 ккал/кг, в отличие от материала других лиственных пород у которых теплоотдача составляет - 2500 ккал/кг.

- плантации энергетической вербы идеально подходят для рекультивации загрязненных земельных участков и земель, малопродуктивных (залежных земель) с точки зрения выращивания сельскохозяйственных культур [5]. Она обогащает почву макро и микроэлементами, питательными веществами природного происхождения, растения являются природными фильтрами для удаления отходов агропромышленного производства, например, сточных вод;

Быстрорастущая энергетическая ива является естественным фильтром для очистки почв от пестицидов и имеет достаточно высокие способности к поглощению тяжелых и редких металлов, таких как свинец, медь, цинк, никель, хром и другие. При этом древесина может использоваться в качестве топлива без ограничений в соответствии с существующими нормативами;

Ива способна хорошо произрастать и обеспечивать высокий выход биомассы на низко плодородных и засоренных землях. Выращивание ивы позволит не только получать продукцию, но и обеспечить биологическую рекультивацию таких земель, создание плантаций ивы позволяет уменьшить нагрузку на окружающую среду.

По результатам наших исследований и практического опыта выращивания энергетической ивы можно сделать следующие выводы:

Существуют значительные перспективы и возможности для более широкого внедрения плантаций ивы в Республике Беларусь. Такой подход предполагает расширение сфер ее использования с учетом биологических аспектов, оптимизации технологии ее выращивания и направлений применения в секторе экономики страны.

В Западной Европе барьером для роста площадей плантаций энергетической ивы является конкуренция между продовольственной безопасностью и безопасностью энергетической в условиях территориальной ограниченности. Такой проблемы нет в Беларуси, так как под плантации можно использовать сотни тысяч гектаров площадей выработанных торфяников, а также загрязненных и деградированных почв. Плантации ивы на выработанных торфяниках могут поддерживать производство для возобновляемой энергии, сельхозпродукции, в том числе разведение КРС, лекарственного и другого сырья.

Для внедрения плантаций ивы Республика Беларусь располагает:

- соответствующими биологии растений климатическими условиями;
- большими территориями, пригодными для плантаций энергетической ивы;

- развитым машиностроением для производства сельхозтехники;
- квалифицированным кадровым потенциалом.

Беларусь в относительно короткое время и при небольших затратах может стать лидером в производстве энергетической ивы в Европе и странах СНГ. Это дополнительный источник местной и возобновляемой энергии для экономики страны. Рост площадей плантаций ивы будет не только генератором и аккумулятором энергии, но и двигателем народного хозяйства Беларуси. Для эффективной реализации такого подхода необходимо выработать механизмы для создания оптимальных условий по развитию и распространению опыта выращивания энергетической ивы в Республике Беларусь и странах СНГ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Беларусь от 18 мая 2015 года № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии». Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31500209&p1=1> Дата доступа: 28.02.2023.
2. Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Минск : Минсктиппроект, 2013. – 248 с.
3. 358. Willow biomass producer's handbook / L. P. Abrahamson [et al.]. – Syracuse : State Univ. of New York, College of Environmental Science a. Forestry, 2002. – 31 p
4. Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe: the role of forests and fast growing plantations / B. Mola-Yudego [et al.] // Biofuels. – 2017. – Vol. 8, № 4. – P. 401–410.
5. Родькин, О. И. Оценка эффективности использования быстрорастущих древесных культур для фиторемедиации загрязненных экосистем / О. И. Родькин // Вестн. ИРГСАХ. – 2018. – Вып. 84. – С. 40–50.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЖИГАНИЯ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ БИОМАССЫ НА ОСНОВЕ «ТОРФ-ТРОСТНИК-ИВА» ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE BURNING OF LOW-QUALITY BIOMASS BASED ON PEAT-REED-WILLOW FOR ENERGY PURPOSES

**В. А. Пашинский<sup>1,2</sup>, А. А. Бутько<sup>1,2</sup>**

**V. A. Pashynski<sup>1,2</sup>, A. A. Butko<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
[pashynski@mail.ru](mailto:pashynski@mail.ru)

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены процессы производства топливных брикетов и пеллет, а также существующая нормативная база в области регулирования качества топливных брикетов и пеллет. Разработаны марки смесевых брикетов и пеллет на основе топлив торф, тростник и ива, а также определены их показатели качества и теплотехнические характеристики, в зависимости от массовой доли компонентов в брикетах и пеллетах. Произведена экологическая оценка сжигания биомассы на основе «торф-тростник-ива».

The processes of production of fuel briquettes and pellets, as well as the existing regulatory framework in the field of regulating the quality of fuel briquettes and pellets are considered. Brands of mixed briquettes and pellets based on peat, reed and willow fuels have been developed, and their quality indicators and thermal characteristics have been determined, depending on the mass fraction of components in briquettes and pellets. An environmental assessment of biomass combustion based on «peat-reed-willow» was carried out.

**Ключевые слова:** топливо, торф, тростник, ива, деревья с коротким периодом выращивания, брикеты, пеллеты, биотопливо твердое, смешанное биотопливо, древесная биомасса, энергетическая культура.

**Keyword:** fuel, peat, reed, willow, trees with a short growing period, briquettes, pellets, solid biofuels, mixed biofuels, woody biomass, energy crops.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-240-244>

Из-за создаваемой угрозы изменения климата, неустойчивого рынка ископаемого топлива и необходимости независимого энергоснабжения для поддержания экономического развития все требует необходимости в устойчивых и возобновляемых энергетических ресурсах [1]. Биомасса является наиболее распространенной формой возобновляемой энергии и представляет наибольшую возможность в качестве сырья для биотоплива [2]. Все виды древесной биомассы, сельскохозяйственных отходов и энергетических культур являются подходящим сырьем для производства топливных гранул (пеллет) и брикетов [1,2]. Пеллеты и брикеты являются ключевой технологией для увеличения использования биомассы как в производстве электроэнергии, так и в производстве тепла, в то время как исследования, проведенные Styles et al., 2008 показали, что биомассы биоэнергетической энергии для производства электроэнергии и тепла могут продемонстрировать значительную экономию выбросов парниковых газов. Это связано с тем, что биомасса является нейтральной по отношению к  $\text{CO}_2$ , выброс  $\text{CO}_2$  во время сжигания происходит из  $\text{CO}_2$ , потребляемого биомассой (замкнутый углеродный цикл), следовательно, никакого увеличения общих выбросов  $\text{CO}_2$  не происходит.

В ходе исследований проводилось энергетическое обоснование использования биомассы на основе смеси топлив торф, тростник и ива [1,2] в качестве котельного топлива.

При проведении энергетического обоснования использования данного топлива, был решен ряд задач, такие как:

- изучение нормативной базы, определяющей требования к качеству топлива;
- разработка марок смесевых брикетов и пеллет на основе смеси топлив торф, тростник и ива;
- разработка показателей качества брикетов и пеллет в зависимости от массовой доли компонентов марки;
- анализ основных теплотехнических характеристик марок смесевых брикетов и пеллет;
- разработка положений по требованию к сырью, безопасности, охране окружающей среды, правилам приемки, транспортировки и хранения.

Разработку марок смесевых пеллет и брикетов на основе тростника, быстрорастущей ивы и фрезерного торфа, проводили путем математического моделирования данных полученных эмпирическим путем, опираясь на Государственные стандарты действующие на территории Республики Беларусь, в которых определены требования к показателям качества топлива: СТБ 2027-2010 «Гранулы древесные топливные. Общие технические условия» и СТБ 1919-2008 «Брикеты топливные на основе торфа. Технические условия». Моделирование проводили с шагом изменения содержания компонентов смеси топлив равным 5 %, не превышая содержание примеси 30 % от массы основного компонента брикетов и пеллет.

Проанализировав полученные данные по теплотехническим характеристикам марок смесевых брикетов и пеллет на основе топлив торф, тростник и ива, в зависимости от массовой доли компонентов смеси, можно сказать, что с повышением процентной доли торфа в топливе происходит улучшение показателей теплоты сгорания топлива, однако ухудшается показатель по зольности топлива. Аналогичная ситуация обстоит и в случае повышения доли тростника, в топливе на основе двух компонентов ива и тростник.

Выбор оптимального количества отдельных компонентов смесевых брикетов и пеллет обуславливается необходимостью достижения оптимальных эксплуатационных свойств топлива, а также указаниями технических нормативных актов. Показатели качества полученных марок смесевых брикетов и пеллет приведены в таблицах 1.

Для оценки воздействия на окружающую среду при сжигании в котлах топливных пеллет и брикетов из смеси фрезерного торфа, древесины ивы быстрорастущей и тростника обыкновенного произведем расчет выбросов вредных веществ в атмосферу. Расчет выбросов выполняем по методике, представленной в ТКП 17.08-01-2006 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользования. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт» Минприроды Республики Беларусь [3]. Расчет выполняем для автоматизированного пеллетного котла мощностью  $N = 75$  кВт, с КПД = 90 % и твердотопливного котла с ручной загрузкой мощностью  $N = 75$  кВт, с КПД = 85 %.

Таблица 1

*Характеристики и элементарный состав топливных гранул из древесины быстрорастущей ивы с добавлением фрезерного торфа*

| Наименование показателя                  | Значение показателя |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Массовая доля фрезерного торфа, %        | 5%                  | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   |
| Влажность $W_t^r$ , %                    | 10                  | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Зольность $A^r$ , %                      | 2,54                | 2,84  | 3,13  | 3,43  | 3,73  | 4,03  |
| Сера $S^r$ , %                           | 0,10                | 0,10  | 0,11  | 0,12  | 0,13  | 0,14  |
| Углерод $C^r$ , %                        | 44,00               | 44,11 | 44,23 | 44,35 | 44,47 | 44,58 |
| Водород $H^r$ , %                        | 5,33                | 5,31  | 5,29  | 5,26  | 5,24  | 5,22  |
| Азот $N^r$ , %                           | 0,69                | 0,76  | 0,83  | 0,90  | 0,97  | 1,04  |
| Кислород $O^r$ , %                       | 37,35               | 36,88 | 36,41 | 35,94 | 35,47 | 34,99 |
| Низшая теплота сгорания $Q_i^r$ , МДж/кг | 14,08               | 14,22 | 14,36 | 14,50 | 14,63 | 14,77 |

*Выбросы оксида азота.* При сжигании твердого топлива в котлах, оборудованных слоевыми топками, максимальное количество оксидов азота  $M_{NOx}$ , г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, рассчитывается по формуле 1 [3]:

$$M_{NOx} = B_i^r \cdot Q_i^r \cdot K_{NOx}^T \cdot \beta_p, \quad (1)$$

где  $B_i^r$  – расчетный расход натурального топлива, кг, определяется по формуле 2;

$Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$K_{NOx}^T$  – удельный выброс оксидов азота, г/МДж, определяется по формуле 4;

$\beta_p$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку на образование оксидов азота, при отсутствии рециркуляции  $\beta_p = 1$  [3].

Расчетный расход натурального топлива, кг, на производство тепловой энергии котельной установкой определяем по формуле [3]:

$$B_i^r = \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot B_i, \quad (2)$$

где  $q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %;

$B_i$  – фактический расход топлива, кг, определяется по формуле 3.

Фактический расход топлива, кг, на производство 1 Гкал тепловой энергии котельной установкой определяем по формуле [3]:

$$B_i = \frac{N \cdot 10^8}{Q_i^r \cdot \eta}, \quad (3)$$

где  $N$  – мощность котла, кВт;

$\eta$  – КПД котла, %.

Удельный выброс оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива, г/МДж, определяется по формуле 4 [3]:

$$K_{NOx}^T = 10^{-3} \cdot H_T \cdot \alpha_T \cdot \sqrt{B_i^r \cdot (Q_i^r)^3}, \quad (4)$$

где  $H_T$  – характеристика топлива, для торфа – 15,4, для ивы – 14,3, для тростника – 12,1 [3];

$\alpha_T$  – коэффициент избытка воздуха в топке, принимаемый для котлов мощностью до 0,3 МВт  $\alpha_T = 3,0$ .

С учетом трансформации азота оксида в атмосферном воздухе, выбросы азота оксида и азота диоксида определяются по следующим формулам 5 и 6 [3]:

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot M_{NOx}; \quad (5)$$

$$M_{NO} = (1 - 0,8) \cdot M_{NOx} \cdot \frac{\mu_{NO}}{\mu_{NO_2}} = 0,13 \cdot M_{NOx}, \quad (6)$$

где  $M_{NO_2}$  – выбросы азота диоксида, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, г/с;

$M_{NO}$  – выбросы азота оксида, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, г/с;

$\mu_{NO}$  и  $\mu_{NO_2}$  – молекулярные массы  $NO$  и  $NO_2$ , равные 30 и 46 соответственно.

Валовой выброс азота оксидов, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{NOx}^{te} = 10^{-3} \cdot B_i^r \cdot Q_i^r \cdot K_{NOx}^T \cdot \beta_p, \quad (7)$$

где  $B_i^r$  – расчетный расход топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии, кг/Гкал.

Результаты расчета сведем в таблице 2.

Таблица 2

*Выбросы загрязняющих веществ при сжигании пеллет  
на основе смеси фрезерного торфа и древесины ивы быстрорастущей*

| Наименование показателя                             | Доля торфа в пеллетах |                    |                    |                    |                    |                    |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Массовая доля фрезерного торфа, %                   | 5%                    | 10%                | 15%                | 20%                | 25%                | 30%                |
| Расход пеллет, кг/с                                 | 13,6                  | 27,3               | 40,9               | 54,5               | 68,1               | 81,8               |
| Расход пеллет, кг/Гкал                              | 323,2                 | 320,0              | 316,9              | 313,9              | 311,1              | 308,1              |
| Выбросы диоксида азота $M_{NO_2}$ ,<br>г/с(кг/Гкал) | 0,0118<br>(0,657)     | 0,0119<br>(0,664)  | 0,0120<br>(0,670)  | 0,0121<br>(0,677)  | 0,0122<br>(0,683)  | 0,0124<br>(0,690)  |
| Выбросы оксида азота $M_{NO}$ ,<br>г/с(кг/Гкал)     | 0,00191<br>(0,107)    | 0,00193<br>(0,108) | 0,00195<br>(0,109) | 0,00197<br>(0,110) | 0,00199<br>(0,111) | 0,00201<br>(0,112) |
| Выбросы диоксида серы $M_{SO_2}$ ,<br>г/с(кг/Гкал)  | 0,00490<br>(0,280)    | 0,00557<br>(0,324) | 0,00624<br>(0,367) | 0,00691<br>(0,409) | 0,00758<br>(0,450) | 0,00825<br>(0,490) |
| Выбросы оксида углерода $M_{CO}$ , г/с              | 0,0720<br>(4,02)      | 0,0720<br>(4,02)   | 0,0720<br>(4,02)   | 0,0720<br>(4,02)   | 0,0720<br>(4,02)   | 0,0720<br>(4,02)   |



*Выбросы диоксида серы.* Выбросы  $SO_2$  в атмосферу при сжигании твердого топлива определяются по формуле, г/с, [3]:

$$M_{so2} = 0,02BS(1 - \eta_{s1})(1 - \eta_{s2})10^3, \quad (8)$$

где  $S$  – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

$\eta_{s1}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, для торфа – 0,25, для ивы – 0,58, для тростника – 0,55;

$\eta_{s2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц,  $\eta_{s2} = 0$ .

Валовой выброс диоксида серы, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{so2}^{te} = 0,02BS(1 - \eta_{s1})(1 - \eta_{s2}), \quad (9)$$

Результаты расчета сведем в таблице 2.

*Выбросы оксида углерода.* Оценка суммарного количества выбросов оксида углерода определяется по формуле, г/с, [3]:

$$M_{co} = B_p C_{co}, \quad (10)$$

где  $C_{co}$  – выход оксида углерода.

При сжигании топлива выход оксида углерода определяется по формуле, г/кг, [3]:

$$C_{co} = g_3 R Q_i^r, \quad (11)$$

где  $g_3$  – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %, для твердого топлива и номинальной тепловой мощности котла до 0,3 МВт включительно  $g_3 = 0,9$ .

$R$  – коэффициент, учитывающий долю потери тепла в следствие химической неполноты сгорания топлива г/кг,  $R = 1,0$ .

Валовой выброс оксида углерода, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{co}^{te} = 10^{-3} B_s^t C_{co}, \quad (12)$$

Результаты расчета сведем в таблице 2.

*Выбросы твердых частиц.* Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива)  $M_{pm}$ , поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов определяются по формуле, г/с, [3]:

$$M_{pm} = 0,01B(1 - \eta_c)(1 - \eta_{c1})(\alpha_{шл}A^r + g_4 \frac{Q_i^r}{32,68})10^3. \quad (13)$$

где  $\eta_c$  – доля твердых частиц удаляемых в мультициклоне,  $\eta_c = 0,85$ ;

$\eta_{c1}$  – доля твердых частиц улавливаемых в электрофилт্রে,  $\eta_{c1} = 0,95$ ;

32,68 – теплота сгорания углерода, МДж/кг.

Валовой выброс твердых частиц, т/Гкал, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{pm} = 0,01B(1 - \eta_c)(1 - \eta_{c1})(\alpha_{шл}A^r + g_4 \frac{Q_i^r}{32,68}). \quad (14)$$

Результаты расчета сведем в таблице 2.

*Выбросы парниковых газов.* Выбросы парниковых газов в эквиваленте  $CO_2$ , т/Гкал, определяют по формуле [3]:

$$P_{co2} = M_{co2} + 21M_{CH4} + 310M_{CH4}, \quad (15)$$

где  $M_{co2}$  – выбросы углерода диоксида (для древесного топлива не учитываются), т/Гкал;

21 – коэффициент перевода 1 т  $CH_{4в}$  в 1 т  $CO_2$ , т/т;

$M_{CH4}$  – выбросы метана, т/Гкал;

310 – коэффициент перевода  $N_2O$  в 1 т  $CO_2$ , т/т;

$M_{N2O}$  – выбросы закиси азота, т/Гкал.

Выбросы углерода диоксида, т/Гкал, определяют по формуле [3]:

$$M_{CO2} = 3,66710^{-3} E^{te} K_c = E^{te} K_{CO2}. \quad (16)$$

где 3,667 – коэффициент, равный соотношению молекулярных масс углерода диоксида и углерода;

$E^{te}$  – потребление топлива в общих энергетических единицах, ГДж/Гкал;

$K_c$  – содержание углерода для данного типа топлива, кг/кДж, определяемые по [3];

$K_{CO2}$  – коэффициент выброса углерода диоксида топлива, т  $CO_2$ /ГДж, для торфа составляет 0,1060 [3].

Выбросы метана  $M_{CH4}$ , т/Гкал, определяются по формуле [3]:

$$M_{CH4} = 10^{-3} E^{te} g_{CH4} \quad (17)$$

где  $g_{CH4}$  – удельный выброс метана, кг/ГДж, составляет 0,02 для торфа и 0,03 для древесного топлива [3].

Выбросы закиси азота  $M_{N_2O}$ , т/Гкал, определяются по формуле [3]:

$$M_{N_2O} = 10^{-3} E^{te} g_{N_2O}, \quad (18)$$

где  $g_{N_2O}$  – удельный выброс закиси азота, кг/ГДж, составляет 0,0027 для торфа и 0,004 для древесного топлива [3].

Результатов данного исследования потенциально могут быть востребованы:

- Государственное производственное объединение по топливу и газификации «Белтопгаз»;
- Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь;
- Государственное производственное объединение электроэнергетики «Белэнерго»;
- Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин О.И., Пашинский В.А., Бутько А.А., Иванова Е.В. Энергетическое использование клона ивы корзиночной *Salix viminalis* Valetas Gigantia (Turbo) // Энергоэффективность №5, 2014. – с. 14 – 18.
2. Родькин О.И., Бутько А.А., Иванова Е.В. Оценка и моделирование энергетического потенциала биомассы ивы на примере клона *Salix viminalis* // Экологический вестник. № 1 (27)/2014. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2014. – с. 80-88.
3. ТКП 17.08-01-2006 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользования. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт» Минприроды Республики Беларусь, 2010. – 20 с.

## ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

## RENEWABLE ENERGY SOURCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND THEIR USE

**В. А. Пашинский<sup>1,2</sup>, А. А. Бутько<sup>1,2</sup>**

**V. A. Pashynski<sup>1,2</sup>, A. A. Butko<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь, [pashynski@mail.ru](mailto:pashynski@mail.ru)

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены возможность использования возобновляемых источников на территории Республики Беларусь. Технический энергетический потенциал ВИЭ нашей страны достигает около 50% от потребности в энергоресурсах, а используется сегодня только на 16%. Изложена государственная политика РБ в области использования возобновляемых источников энергии.

The possibility of using renewable sources on the territory of the Republic of Belarus is considered. The technical energy potential of renewable energy sources in our country reaches about 50% of the need for energy resources, and today only 16% is used. The state policy of the Republic of Belarus in the field of the use of renewable energy sources is outlined.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, государственная политика, солнечная энергетика, биоэнергетика, гидроэнергетик, геотермальная энергетика.

**Keyword:** renewable energy sources, public policy, solar energy, bioenergy, hydropower, geothermal energy.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-244-247>

Постоянный рост потребления энергии в мире и в нашей стране ведет к неизменному увеличению ее производства и спросу на энергоносители. В настоящее время мировое потребление топлива составляет более 22 млрд. т у. т. (тонн условного топлива в угольном эквиваленте). А мировой топливный баланс характеризуется следующими показателями (%): твердое топливо – 36, газ – 23, мазут – 9, гидроэнергетика и иные возобновляемые виды энергии – 18, атомная энергетика – 14. По прогнозам гидроэнергетика и иные возобновляемые виды энергии до 2050 года в мировом топливном балансе возрастут до 25 %.

При этом сложившийся характер развития энергетики, наряду с укоренным ростом численности населения и улучшением социально-экономического развития, привел к тому, что существующие основные способы получения энергии негативным образом начали воздействовать, как на человека, так и на окружающую среду. Получаемые в результате переработки традиционных видов топлива выбросы стали оказывать негативное воздействие на воздушный (выброс вредных газов, механических частиц, поглощение кислорода) и водный бассейн (сброс загрязнений и нагретой воды и жидких токсичных отходов, заводнение больших территорий).

Топливно-энергетический комплекс (ТЭК) является важнейшей структурной составляющей народного хозяйства Республики Беларусь в обеспечении функционирования экономики и повышения уровня жизни населения. Однако в настоящее время экономика республики базируется преимущественно на импорте ТЭР, невозможно производить конкурентоспособную продукцию без эффективного использования топлива, теплоты, энергии. Годовые затраты на импорт энергоресурсов в республике почти равны годовому производству валового внутреннего продукта, а основной дефицит платежного баланса обусловлен в основном затратами на энергоресурсы.

Валовое потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в 2020 году в Республике Беларусь, по данным Национального статистического комитета, составило 37 млн. т у. т. (таблица 1) или 3,54 т у. т. в год на человека. На рисунке 1 представлена структура валового потребления ТЭР, а на рисунке 2 приведена структура конечного потребления топлива и энергии по секторам в 2020 году. Республика Беларусь входит в двадцатку наиболее энергозависимых стран мира, а энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) в республике в два и более раза выше по сравнению с европейскими странами.

Таблица 1

*Источники формирования топливно-энергетических ресурсов (тысяч тонн условного топлива)*

| Показатели                                           | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   |
|------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Производство (добыча)                                | 5 270  | 5 665  | 5 964  | 6 261  | 6 341  |
| в т. ч.: торф топливный                              | 495    | 654    | 789    | 767    | 529    |
| нефть                                                | 2 352  | 2 360  | 2 388  | 2 417  | 2 445  |
| газ природный попутный                               | 355    | 338    | 348    | 360    | 361    |
| возобновляемые энергетические ресурсы                | 2 023  | 2 271  | 2 394  | 2 689  | 2 881  |
| невозобновляемые отходы                              | 45     | 42     | 45     | 28     | 13     |
| атомная энергия                                      | -      | -      | -      | -      | 112    |
| Импорт                                               | 51 036 | 51 750 | 52 909 | 52 679 | 46 496 |
| в т. ч.: нефть                                       | 25 943 | 25 926 | 26 095 | 25 737 | 22 840 |
| газ природный                                        | 21 436 | 21 866 | 23 380 | 23 300 | 21 581 |
| Экспорт                                              | 21 396 | 20 456 | 19 765 | 20 445 | 15 439 |
| Изменение запасов                                    | 895    | -108   | -702   | -485   | -339   |
| Валовое потребление топливно-энергетических ресурсов | 35 805 | 36 851 | 38 406 | 38 010 | 37 059 |

Отношение импорта ТЭР к их валовому потреблению в 2020 году составило 83,8%. Производство (добыча) природных видов топливно-энергетических ресурсов в стране приведено в таблице 1. Отношение производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников к объему валового потребления топливно-энергетических ресурсов на 01.07.2022 года составило 8,0%.

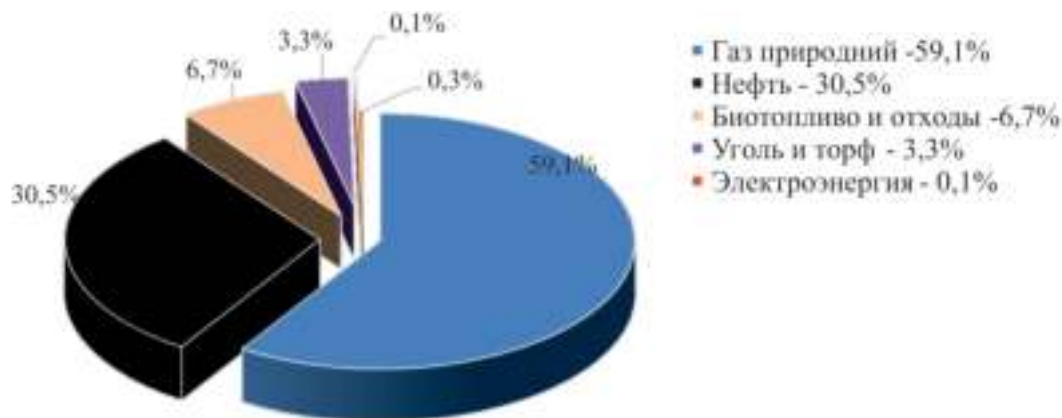


Рисунок 1 – Структура валового потребления ТЭР в Республике Беларусь в 2020 году

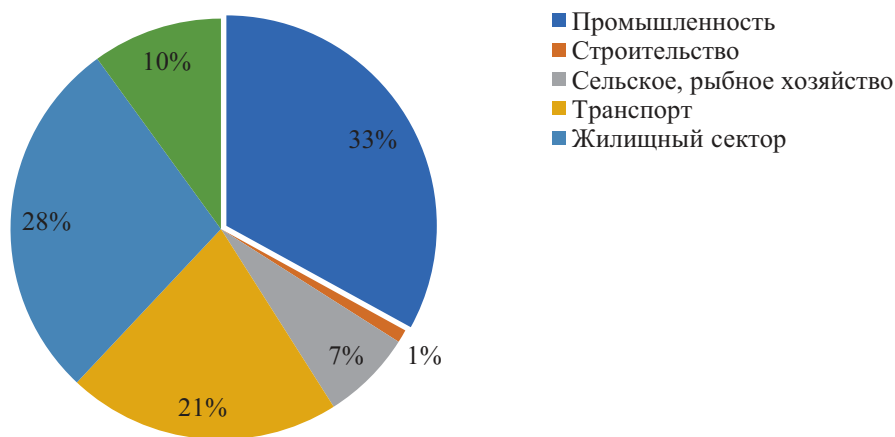


Рисунок 2 – Структура конечного потребления топлива и энергии по секторам Республики Беларусь в 2020 году

В создавшейся ситуации единственной рациональной альтернативой ископаемому углеводородному топливу являются возобновляемые источники энергии, основанные на использовании солнечной радиации, энергии ветра, энергии, получаемой из биомассы и биогаза, термальной и энергии течений. Неисчерпаемость, универсальность и доступность ресурсов возобновляемых источников приводят к все более широкому их использованию в производстве энергии в мире и нашей стране. По сравнению с другими источниками энергии использование возобновляемых источников развивается опережающими темпами. Количество производимой с их помощью энергии выросло за последние 10 лет более чем в 2,5 раза.

По информации Международного энергетического агентства лидерами в производстве энергии с использованием возобновляемых источников являются по состоянию на 2019 г. Китай (65,3 ГВт), Европа (33,9 ГВт) и Соединенные Штаты Америки (22,0 ГВт).

Потенциал ВИЭ и вторичных ресурсов РБ приведен в таблице 2. Видно, что технический энергетический потенциал ВИЭ нашей страны достигает 50% от потребности в энергоресурсах, а используется сегодня только на 16 %.

Доля различных видов ВИЭ в общем объеме производства электрической энергии за счет возобновляемых ресурсов в 2019 году республики приведена на рисунке 3.

Таблица 2

Потенциал ВИЭ и вторичных ресурсов РБ

| № п/п                              | Вид ресурса                                                            | Технический потенциал |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1                                  | Древесное топливо и отходы деревообработки, млн. т у. т.               | 4,45–6,6              |
| 2                                  | Биогаз из отходов животноводства, млн. т у. т.                         | 1,25 – 1,75           |
| 3                                  | Ветропотенциал, млрд. кВт-ч                                            | 2,24–15,65            |
| 4                                  | Гидроресурсы, млрд. кВт-ч                                              | 0,4 – 2,27            |
| 5                                  | Солнечная энергия, млн. т у. т.                                        | 0,5                   |
| 6                                  | Фитомасса, млн. т у. т.                                                | 0,3                   |
| 7                                  | Лигнин, млн. т у. т.                                                   | 0,05 – 0,95           |
| 8                                  | Коммунальные отходы, млн. т у. т.                                      | 0,5                   |
| 9                                  | Низкопотенциальное тепло земли и технологические выбросы, млн. т у. т. | 1,5 – 2,0             |
| 10                                 | Энергия пара котельных, млн. т у. т.                                   | 0,32                  |
| И т о г о                          |                                                                        | 10,5 – 17,0           |
| % от общего объема потребления ТЭР |                                                                        | 28,0 – 46,0           |

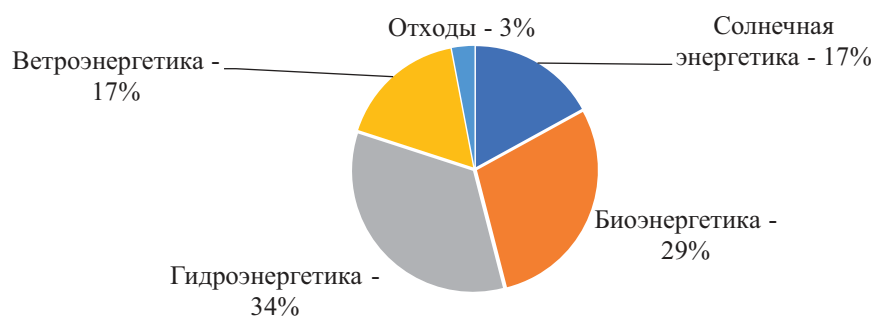


Рисунок 3 – Доли различных видов ВИЭ в общем объеме производства электрической энергии в 2019 году

Государственная политика Республики Беларусь в сфере энергосбережения определяется Законом «Об энергосбережении» (от 24 мая 2021 г. № 111-3). Основными принципами энергосбережения являются:

- разработка государственных и межгосударственных научно-технических, республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения и их финансирование;
- осуществление государственного надзора Департаментом по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов и снижению энергоемкости производства;
- приведение технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации в соответствие с требованием снижения энергоемкости производства, сферы услуг и быта;
- создание системы финансово-экономических механизмов, обеспечивающих экономическую заинтересованность производителей и пользователей в эффективном использовании топливно-энергетических ресурсов, вовлечении в топливно-энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также в инвестировании средств в энергосберегающие мероприятия;
- повышение уровня самообеспечения республики возобновляемыми топливно-энергетическими ресурсами;
- осуществление государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;
- создание и широкое распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, обеспечение безопасного для населения состояния окружающей среды в процессе использования топливно-энергетических ресурсов;
- реализация демонстрационных проектов высокой энергетической эффективности;
- информационное обеспечение деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;
- обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии;
- создание иных экономических, информационных, организационных условий для реализации принципов энергосбережения.

По состоянию на 01.07.2022 г. по данным кадастра ВИЭ в Республике Беларусь действуют:

- 100 фотоэлектрических станций (ФЭС) мощностью 272,5 МВт (крупнейшие – Чериковская ФЭС ООО «Солар Лэнд» – 109 МВт и Речицкая ФЭС ПО «Белоруснефть» – 56 МВт);
- 55 гидроэлектростанций (ГЭС) мощностью 98,36 МВт (крупнейшие – Полоцкая (21,6 МВт) и Витебская (40 МВт) ГЭС);
- 108 ветроэнергетических установок (ВЭУ) мощностью 120,31 МВт (крупнейший ветропарк – 6 объединенных ВЭУ РУП «Гродноэнерго» в Новогрудском р-не (9 МВт), наиболее мощная одиночная ВЭУ – установка производства компании Vensys, расположенная в Лиозненском р-не Витебской области и находящаяся в собственности ООО «ВетроВатт» 3,495 МВт);
- 36 установок по использованию биогаза (включая установки по извлечению свалочного газа) мощностью 47,61 МВт (крупнейший комплекс – СПК «Рассвет им. Орловского» – 4,8 МВт);
- 60 установок по использованию энергии биомассы (включая 15 мини-ТЭЦ) электрической мощностью 174,26 МВт (крупнейшая Светлогорская ЦКК – 70 МВт).

По данным Департамента по энергоэффективности Государственного комитета стандартизации Республики Беларусь, электрическая мощность установок ВИЭ на 1 июля 2022 года достигла 629,8 МВт. Фактическая электрогенерирующая мощность установок ВИЭ с 2009 по 2022 годы выросла в четырнадцать раз, с 2017 по 2020 годы – в три раза.

В настоящее время реализуются следующие инвестиционные проекты по строительству возобновляемых источников энергии: мини-ТЭЦ в г. Быхове электрической энергии 13,2 МВт, биогазовый комплекс в агрогородке Ореховка Кличевского района электрической мощностью 1,5 МВт, мини-ГЭС электрической мощностью 0,16 МВт д. Герваты и 0,45 МВт д. Ольховка Островецкого района.

Неотъемлемым элементом использования возобновляемых источников энергии является подготовка специалистов в данной области и просвещение населения страны. Для проведения обучения важно разработать и реализовать учебные программы, отвечающие современным требованиям.

В Международном государственном экологическом институте имени А.Д. Сахарова БГУ создана программа по подготовке инженеров-энергетиков, являющихся специалистами в области возобновляемых источников энергии. С 2023 года будет осуществляться набор на подготовку таких специалистов. Большую часть образовательной программы составляют энергетические дисциплины, из которых ведущую роль играют дисциплины по возобновляемой энергетике.

### **Выводы**

Использование возобновляемых источников энергии является единственной реальной альтернативой ископаемым видам топлива, в т. ч. и для Республики Беларусь. Технический энергетический потенциал ВИЭ нашей страны достигает около 50% от потребности в энергоресурсах, а используется сегодня только на 16%.

Благодаря своим преимуществам, прежде всего экологичности, рост производства возобновляемой энергии соответствует принципам устойчивого развития и неизбежен.



**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИИ  
КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

# **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННО-КОММУНАЛЬНОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ**

## **INTELLIGENT SUBSYSTEM FOR MANAGEMENT OF THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE INDUSTRIAL AND PUBLIC WATER DISPOSAL**

***В. Н. Штепа, П. В. Васюхневич***  
***V. N. Shtepa, P. V. Vasyuhnyevich***

*Полесский государственный университет, Пинск, Беларусь*  
*E-mail: shtepa.v@polessu.by*  
*Polesky State University, Pinsk, Belarus*  
*E-mail: shtepa.v@polessu.by*

В работе проанализированы современные вызовы, связанные с построением экосреды мегаполисов и акцентированием внимания на функционировании систем водоотведения, включающих очистные сооружения. Определено отсутствие теоретического базиса комплексного обеспечения нормативных природоохранных требований в сегменте «канализационная сеть – очистные сооружения – водные объекты». Обоснована и создана интеллектуальная подсистема управления экологической безопасностью промышленно-коммунального водоотведения, которая представляет собой программное решение импактного мониторинга и предназначена для адаптивной наладки работы централизованного водоотведения, в том числе систем очистки сточных вод. Проведена положительная промышленная апробация синтезированного информационно-управляющего комплекса, реализующего математический аппарат искусственного интеллекта.

The paper analyzes the modern challenges associated with the construction of the eco-environment megacities and focusing on the functioning of wastewater systems, including treatment facilities. The absence of a theoretical basis for the comprehensive provision of regulatory environmental requirements in the “sewer network – treatment facilities – water bodies” segment is determined. The intelligent subsystem for managing the environmental safety of industrial and municipal wastewater disposal has been substantiated and created, which is the software solution for impact monitoring and is designed for adaptive adjustment of the operation of centralized wastewater disposal, including wastewater treatment systems. The positive industrial testing of the synthesized information and control complex, which implements the mathematical apparatus of artificial intelligence, has been carried out.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, водоотведение, очистные сооружения, информационно-управляющая система, искусственный интеллект.

*Keywords:* environmental safety, water disposal, treatment facilities, information and control system, artificial intelligence.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-249-253>

По оценкам ООН, к 2050 году в городах будет проживать около 60% всего населения планеты. Соответственно, растет городское население, а территория и количество ресурсов в городе в основном остаются прежними. Такая ситуация актуальна и для Республики Беларусь. Современные белорусские города сталкиваются среди прочих и со следующими вызовами: инфраструктурный разрыв и высокий уровень износа основных городских сетей; увеличение экологического давления на города.

Как известно в основе развития умных городов лежат цифровые технологии, позволяющие различным объектам городской среды взаимодействовать друг с другом в гетерогенных и распределенных вычислительных средах на основе обмена данными, происходящего в режиме реального времени. При этом анализируя опыт развития умных городов, можно акцентировать внимание на том, что экологический фактор (использование технологий для решения экологических проблем, эффективного использования природных ресурсов, охраны природных объектов) является одним из наиболее критически важных.

При этом в водной стратегии Республики Беларусь на период до 2030 года в условиях изменения климата под водной безопасностью понимается, в том числе: безопасное отведение сточных вод (включая поверхностные сточные воды (СВ), при обеспечении финансовой доступности услуг водоотведения; безопасное отведение производственных сточных вод при обеспечении их нормативной очистки; защищенность жизни и имущества населения и отраслей экономики от негативного воздействия вод; обеспечение хорошего экологического состояния водных объектов.

В то же время существующие очистные сооружения в городах и районных центрах страны построены преимущественно в 70-е годы прошлого века, имеют большой физический износ и не могут обеспечить выполнение современных требований к качеству очистки сточных вод, в первую очередь, по удалению биогенных элементов. В настоящее время необходимо проведение их комплексной реконструкции и модернизации. Ситуация усугубляется тем, что в планах на 2021–2025 годы было проведение реконструкции, модернизации и строительства 70 коммунальных очистных сооружений, 28 из них – на средства международных финансовых организаций, а такое финансирование на данный момент приостановлено и имеет крайне неопределённые перспективы. Таким образом необходимо значительно более рационально использовать доступный экономический ресурс на основе усовершенствования теоретических подходов по созданию технических заданий проектирования очистных сооружений.

Оценка технологической стороны водообработки демонстрирует, что есть факторы, которые вызывают техногенную нагрузку на окружающую среду со стороны населённых пунктов и затрудняют управление экологической безопасностью транспортировки и очистки водных растворов: возможность действия нештатных ситуаций природного и техногенного происхождения в различных узлах системы водоотведения; отсутствие полноты информации о конкретных комбинированных процессах (каждый объект имеет свои особенности и параметры настройки оборудования для эффективного функционирования); многофакторность характеристик процессов обработки и транспортировки сточных вод; отсутствие всего необходимого перечня измерительного оборудования показателей качества сточных вод способного работать в режиме реального времени или низкая точность и быстродействие современных технических решений.

В связи с указанным возникает необходимость решения актуальной научно-практической задачи государственного масштаба в области создания безопасной экосреды населённых пунктов, которая заключается в разработке методики цифровизации систем водоотведения водопроводно-канализационных хозяйств на основе критерия экологической эффективности очистных сооружений.

В настоящее время создан теоретический базис, который обеспечивает активное внедрение, в том числе и на предприятиях водопроводно-канализационных хозяйств, подходов экологического менеджмента [1–3]. Оценка эффективности экологической деятельности используется для контроля прогресса в области охраны окружающей среды. Также имеются приемлемые теоретические наработки в области использования цифровизации при создании концептов «умных городов» [1, 2].

При этом проблематика построение систем автоматического управления очистными сооружениями (ОС) менее теоретически проработана, что не позволяет обеспечить полной автоматизации процессов, прежде всего из-за отсутствия нужного перечня промышленных датчиков способных работать в режиме реального времени. Для частичного решения таких задач внедряют средства моделирования, что потенциально позволяет улучшить наблюдаемость (прогнозируемость) процессов и возможность соблюдения технологических регламентов [8].

Вместе с тем другими исследователями, по мнению авторов, задача выполнения требований экологической эффективности очистных сооружений населённых пунктов рассматривается в отрыве от анализа функциональных показателей узлов канализационных сетей и оперативного контроля параметров отведения сточных вод промышленными предприятиями, как ключевых загрязнителей СВ. Такой общепринятый теоретический подход создаёт значительные негативные предпосылки неконтролируемого поступления залповых концентраций загрязнителей на коммунальные системы очистки – переводя их режим работы из «штатного» в «нештатный», даже с потенциальной остановкой, и создавая крайне весомую угрозу окружающей среде населённых пунктов. Устранения указанного противоречия в работах других учёных (а именно отсутствие системности при анализе процессов водоотведения) путём использования приёмов цифровизации технологических процессов и моделирования позволит создать единый информационно-аналитический комплекс: «ключевые предприятия-загрязнители сточных вод» – «сеть транспортировки сточных вод» – «очистные сооружения» – «природные водные объекты» и, таким образом, повысить экологическую эффективность удаления загрязнителей на станциях водообработки при уменьшении экологического давления на мегаполисы.

Именно для уменьшения указанного недостатка создана информационная интеллектуальная подсистема управления экологической безопасностью промышленно-коммунального водоотведения (ИПУЭБ ПКВ). Она представляет собой программное решение импактного экологического мониторинга и предназначена для адаптивной наладки работы централизованного водоотведения (включая очистные сооружения путём определения в оперативном режиме, максимально приближённом к режиму реального времени, на основе математического аппарата искусственного интеллекта (ИИ) [3, 4]:

- эффективных и экологических безопасных режимов функционирования очистных сооружений;
- эффективных и экологических безопасных режимов работы систем водоотведения в целом;
- реакции на чрезвычайные и опасные для окружающей среды и технологического оборудования ситуации с минимизацией рисков антропогенного загрязнения геоэкосистем;
- внедрения системы поддержки принятия решений (СППР) технологом очистных сооружений в части мониторинга качества сточных вод на стадиях их приёма системой водоотведения и ОС.

Также математическая обработка создаваемых ИПУЭБ ПКВ баз данных (баз знаний) процессов в системах водоотведения позволяет формировать адекватные технические задания (ТЗ) на проектирование нового строительства (модернизации, реконструкции) ОС коммунальных и промышленных объектах [5].

Её базовый состав:

- распределённые автоматизированные измерительные комплексы анализа состава сточных вод и других технологических параметров водоотведения (включая энергонезависимые решения),
- интерфейсные беспроводные средства на физическом и логическом уровнях (с обеспечением защиты информации требуемого качества);
- реализация защищённого хранения данных (включая облачные технологии),
- системы поддержки принятия решений о состоянии и прогнозировании параметров водоотведения и его влияния на окружающую среду (в том числе с использованием математического аппарата ИИ).

При этом ИПУЭБ ПКВ интегрируется в существующие информационные системы, в том числе управления технологическими процессами, согласно схемы рисунка 1 в виде «Аналитического модуля».



Рисунок 1 – Схема использования ИПУЭБ ПКВ в рамках существующих информационно-управляющих решений систем коммунально-промышленного водоотведения

Внедрение подсистемы на коммунальных очистных сооружениях представлено на рисунке 2.

Результаты функционирования ИПУЭБ ПКВ можно применить в следующих областях: коммунальный сектор (прежде всего водоканалы) – порядка 70% сооружений очистки коммунальных сточных вод Республики Беларусь требуют серьёзной модернизации при значительных ограничениях финансовых средств; промышленность – предприятия реального сектора экономики выполняющие отведение сточных вод, в том числе экспортно-ориентированные (молокоперерабатывающие комплексы, мясокомбинаты, птицефабрики, свинопредприятия), в значительной мере нуждаются в модернизации (строительстве, реконструкции) систем водоотведения.



А)



Б)

Рисунок 2 – Иллюстрация внедрения ИПУЭБ ПКВ на коммунальных очистных сооружениях как элементе системы водоотведения: А – картографическое расположение точек сбора данных, Б – интерфейс главного окна подсистемы сбора и анализа данных функционала биологических ОС



**Закключение.** Основные научные результаты полученные при обосновании и создании такой интеллектуальной подсистемы: модели системы сбора информации о состоянии сетей водоотведения населённых пунктов с распределённой передачей данных качества сточных вод; модели функционирования очистных сооружений населённых пунктов в условиях нестационарности, нелинейности и неполноты входной информации; концептуальная модель цифровизации системы водоотведения водопроводно-канализационных хозяйств в сегменте «транспортировка – очистка сточных вод» на основе критерия экологической эффективности очистных сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Шимова, О.С.* Основы экологии и экономика природопользования / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: БГЭУ, 2010. – 454 с.
2. *Ковалев, М.Я.,* Концепция пилотного регионального проекта «Кричев - малый умный город. Кричевский район. Развиваемся вместе» / М.Я. Ковалев, Л.В. Губич, Г.П. Матюшенко / ОИПИ НАН Беларуси, 2018 г.
3. *Штепа, В.Н.* Data Mining процессов очистки сточных вод с использованием нечётких нейронных сетей / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец // Интеллектуальные информационные системы: теория и практика : сборник научных статей по материалам III Всероссийской конференции, Курск, 22–23 ноября 2022 года / Курский государственный университет; отв. ред. А.А. Халин. - Курск, 2022. – С. 210–216.
4. *Штепа, В.Н.* Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод / В.Н. Штепа, Н.Ю. Золотых // Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси»: сборник докладов, Минск, 13-14 октября 2022 г. / Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси. - Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 41–45.
5. *Штепа, В. Н.* Использование виртуальной меры энергоэффективности водоочистки при цифровизации водопроводно-канализационного хозяйства / В. Н. Штепа, А. Б. Шикунец, Я. Ю. Ёрш // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шлядинские чтения- 2022»): материалы XIV Международной научно-технической конференции, Пенза, 24-26 октября 2022 г. / под ред. Е.А. Печерской. – Пенза : ПГУ, 2022. – С. 182–186.

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ОЗОнового СЛОЯ OPPORTUNITIES FOR FORECASTING THE STATE OF THE OZONE LAYER

***А. Н. Акимов<sup>1</sup>, С. И. Гуляева<sup>2</sup>, А. М. Людчик<sup>1</sup>***  
***A. N. Akimov, S. I. Gulyaeva, A. M. Liudchik***

*<sup>1</sup>Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ,  
Минск, Республика Беларусь, liudchikam@tut.by*

*<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко,  
Минск, Республика Беларусь, ms.bruchkovskaya@yandex.ru*

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, the Republic of Belarus  
Applied Physical Problems Research Institute named after A. N. Sevchenko, Minsk, the Republic of Belarus,*

Анализируется качество сделанного несколько лет назад прогноза состояния озонового слоя над Северным полушарием. Прогноз был получен с использованием концепции динамической климатической нормы и модели квадратичного многолетнего тренда общего содержания озона по данным спутниковых наблюдений за период 1978–2017 гг. Прогнозные значения многолетнего тренда общего содержания озона сравниваются с расчетами тренда по данным за период, включающий и область прогноза. Использована усовершенствованная модель тренда в виде полинома третьей степени, более соответствующая ожидаемому поведению стратосферного озона. Многолетние тренды для обеих моделей практически совпадают в пределах ранее использованного периода, однако прогноз на период 2018–2022 гг. не во всех случаях оправдался. Анализируются причины несоответствия и возможные пути совершенствования прогноза.

Taking into account the recent observations of the ozone layer over the Northern Hemisphere, the quality of the forecast made several years ago for its state is analyzed. The forecast was obtained using the concept of a dynamic climate norm and the model of a quadratic long-term trend of the total ozone content based on satellite observations for the period 1978–2017. The predicted values of the long-term trend of the total ozone content are compared with the results of calculating the trend based on the data for the period that includes the forecast area. The improved third-degree polynomial trend model is used to better match the expected behavior of stratospheric ozone. Long-term trends in both models practically coincide within the previously used period, however, the forecast for the period 2018–2022 is not justified in all cases. The reasons for the discrepancy and possible ways to improve the forecast are analyzed.

*Ключевые слова:* стратосферный озон, общее содержание озона, динамичная климатическая норма, много-  
летний тренд стратосферного озона.

*Keywords:* stratospheric ozone, total ozone, dynamic climate norm, long-term trend of stratospheric ozone.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-253-257>

В [1] представлены результаты расчета динамичной климатической нормы общего содержания озона (ОСО) в атмосфере над различными регионами средних широт Северного полушария. Сразу следует указать на принципиальное отличие концепции динамичной климатической нормы (см. [1] и ссылки, приведенные там) от ее традиционного определения, принятого Всемирной метеорологической организацией [2]. Согласно [2], нормой называется среднее значение климатического параметра, определенное в течение 30 лет непрерывных наблюдений. А динамичная норма допускает изменение в пределах периода, использованного для своего определения. Таким образом, с учетом не равного нулю многолетнего тренда, норма изменяется от года к году в пределах периода определения. Иными словами, это «живая» норма, меняющаяся со временем не только каждые следующие 30 лет, но и в течение конкретного тридцатилетия. Детали подробно описаны в [1].

Изначально концепция динамичной климатической нормы успешно применялась к метеорологическим параметрам с использованием простейшей модели линейного многолетнего тренда. В [1] авторы применили более «гибкую» модель квадратичного тренда для описания состояния озонового слоя земной атмосферы, подвергнувшегося существенному истощению в результате человеческой деятельности в конце XX века.

Обычно в рамках подобных исследований используются модели тренда, состоящие из двух линейных участков [3]. Квадратичная модель представляется нам более адекватной для описания поведения ОСО над планетой, прошедшего через минимум в течение последних пятидесяти лет. В [1], помимо прочего, анализируется также возможность описания поведения многолетнего тренда ОСО в рамках модели с большими степенями свободы (в виде полинома третьей степени) и приводятся аргументы, обосновывающие отказ от нее на данном этапе. Это известный эффект необоснованного увеличения числа степеней свободы в уравнении регрессии, ведущего к тенденции решения детально описать случайные флуктуации исходных данных.

К настоящему времени удлинились ряды спутниковых наблюдений за ОСО. Если в [1] период наблюдений был 1978 г. – 2017 г. (за исключением 1994 г. – 1995 г., когда измерения проводились прибором, установленным на советском спутнике Метеор-3, и оказались проблемными), то сейчас доступны данные еще почти пяти лет наблюдений. Это предоставляет возможность еще раз попробовать использование модели кубического тренда, поскольку с удлинением рядов данных принятая модель лишается способности реагировать на кратковременные флуктуации измеряемой величины. Дополнительным стимулом для этого является то, что кубическая модель тренда (в отличие от квадратичной) позволяет хотя бы приближенно отразить ожидаемые в XXI веке восстановление и стабилизацию озонового слоя в результате предпринятых мер, поскольку допускает еще один экстремум, помимо минимума в конце прошлого века.

Следует также отметить, что постановка задачи в [1] и в настоящей публикации существенно отличается от «традиционной», когда исследователи интересуются влиянием на озоновый слой только сокращения концентрации антропогенных озоноразрушающих веществ в стратосфере, выделяя этот эффект из ряда других факторов [3]. Предлагаемые решения такой задачи не слишком убедительны, поскольку используют множество до сих пор слабо обоснованных предположений о влиянии ряда наблюдаемых эффектов в тропосфере и океанах на стратосферный озоновый слой. Возможность такого влияния нельзя отрицать, однако физические механизмы до сих пор остаются неясными (на уровне гипотез).

Для подтверждения правомочности используемого подхода достаточно заметить, что основным мотивом принятия Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, явилось стремление избежать риска увеличения интенсивности вредного для всего живого на Земле солнечного коротковолнового ультрафиолетового излучения [4], зависящего в первую очередь от состояния озоносферы. Это позволяет ставить вопрос о том, как изменяется со временем озоновый слой, и пытаться сделать прогноз изменений в ближайшем будущем, не отвлекаясь на причины наблюдаемых изменений.

Для расчетов, как и в [1], использованы спутниковые измерения ОСО приборами TOMS (1978–1993, 1996–2004) и OMI (2005–2017), дополненные наблюдениями прибором OMI [5] в 2018–2022 гг. Расчеты проведены для регионов, находящихся в полосе широт 30–40 °N, 40–50 °N, 50–60 °N и в интервалах долгот 75–120 °W (Северная Америка), 15–60 °W (Атлантика), 5–50 °E (Европа), 70–115 °E (Азия). Данные за каждый день измерений в узлах спутниковой сетки, попадающих в границы выбранного региона, усреднялись и далее обрабатывались по единой методике, описанной в [1]. Там же представлено расположение исследованных регионов на глобусе.

Далее в основном будет анализироваться достоверность прогноза на период с 2018 г. по 2022 г., сделанного в [1]. Анализ осуществляется посредством сравнения с расчетами, включающими данные наблюдений за указанный период на основе более «гибкой» кубической модели многолетнего тренда ОСО. Сразу может возникнуть вопрос, почему сравнение прогноза, полученного с использованием одной модели тренда, сравнивается с результатами обработки расширенного ряда данных в рамках другой модели? Кубическая модель лучше соответствует ожидаемому поведению озонового слоя: после очищения стратосферы от антропогенных озоноразрушающих веществ, следует ожидать восстановления и стабилизации ОСО на «дофреоновом»

уровне, а не ухода в плюс-минус бесконечность, как предполагает параболическая модель тренда. Кубическая модель тоже не избавляет от бесконечности в будущем, однако позволяет «увидеть» точку стабилизации ОСО после прекращения действия выброшенных в атмосферу антропогенных разрушителей озона.

На рис. 1 приведены многолетние тренды среднегодовых значений ОСО для квадратичной [1] и кубической моделей тренда. Квадратичный тренд после 2017 г. содержит прогнозные значения. Прогнозные значения для кубического тренда начинаются после 2022 г. В интервале 1987 г. – 2017 г. обе модели показывают практически совпадающие значения. Это подтверждает достоверность полученных ранее результатов о многолетнем тренде ОСО.

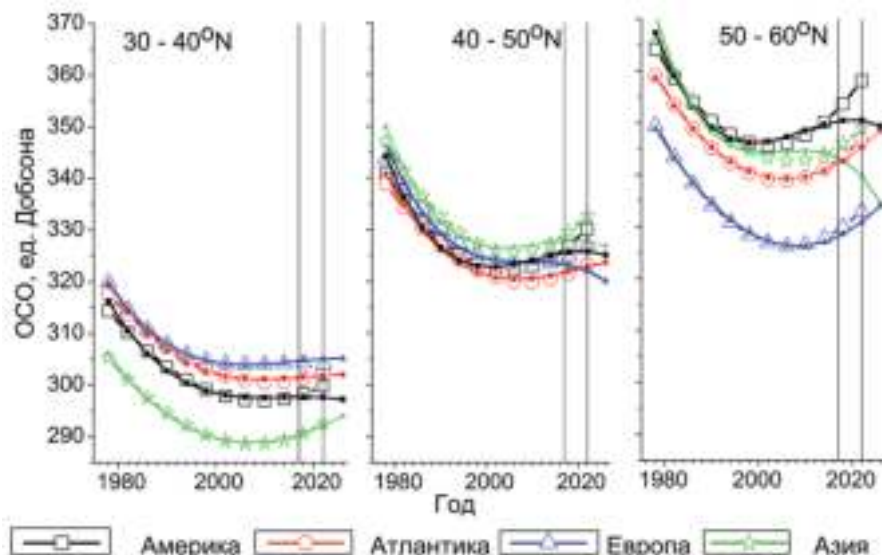


Рисунок 1 – Многолетние тренды среднегодовых значений ОСО в рамках квадратичной (на основании данных за период с 1987 г. по 2017 г. [1]) и кубической (на основании данных за период с 1987 г. по 2022 г.) моделей тренда. Вертикальные линии отмечают верхние границы указанных периодов. Кубическому тренду соответствуют кривые, продолжающиеся за 2022 г. и обозначенные малыми закрашенными метками

В полосе широт 30–40 °N хорошее соответствие наблюдается также и в период 2017–2022 гг. (это период прогноза для квадратичной модели). В более высоких широтах прогноз на основе модели квадратичного тренда уже заметно отличается от результатов расчетов, полученных с моделью кубического тренда и учетом дополнительных данных измерений за этот период. В частности, в интервале широт 40 – 50 °N кубический тренд в этот период в Америке и Азии стабилизировался, в Атлантике он имеет тенденцию к увеличению ОСО. В Европе заметно снижение, как и в случае кубического тренда, рассчитанного по данным сокращенного периода [1]. В интервале широт 50–60 °N в Америке тренд ОСО в этот период стабилен, в Атлантике и Европе продолжается рост, как и предсказывала квадратичная модель, а в Азии заметно резкое снижение. Более детальную информацию можно получить, анализируя сезонную изменчивость многолетних трендов ОСО (рис. 2). Из результатов [1] следует, что тренды для целых широтных поясов малоинформативны, поэтому в данной работе не рассчитывались. Они не представляют интереса, поскольку поведение озона над отдельными регионами пояса сильно различается. Только в интервале 40–50 °N региональные тренды среднегодовых значений ОСО почти совпадают (рис. 2). На более южных и более северных широтах различия между регионами весьма существенны. Единственным источником такого различия является неоднородность земной поверхности, влияющая на динамику не только тропосферы, но и стратосферы, в которой находится основная масса озонового слоя. Именно особенности динамики стратосферы, обусловленные указанной причиной, приводят к региональным различиям в поведении озона и, как оказалось, в последние годы маскируют в Северном полушарии эффект сокращения выбросов озоноразрушающих веществ [3].

В Америке в интервале 30–40 °N зимой и весной рост ОСО прекратился и кривые кубического тренда указывают на начало его уменьшения. Прогноз на основе квадратичного тренда [1] показывал рост в эти сезоны. Летом тренд стабилизировался. Прогнозировавшееся уменьшение ОСО осенью не оправдалось: наблюдается рост. В интервале широт 40–50 °N в зимний и весенний сезоны тренд ОСО в отличие от прогнозирувавшегося роста стабилизировался. Летом и осенью его поведение практически совпадает с полученным ранее прогнозом. В самом северном регионе заметные отклонения от прогноза произошли весной и летом: вместо ожидавшегося увеличения ОСО тренд указывает на его снижение.

Атлантика. Существенные отклонения от прогнозных значений в интервале широт 30–40 °N и 40–50 °N заметны только весной, а в интервале 50–60 °N – зимой (во всех упомянутых случаях прогнозирувавшееся в рамках квадратичной модели увеличение ОСО не оправдалось и в действительности тренд показывает его уменьшение).

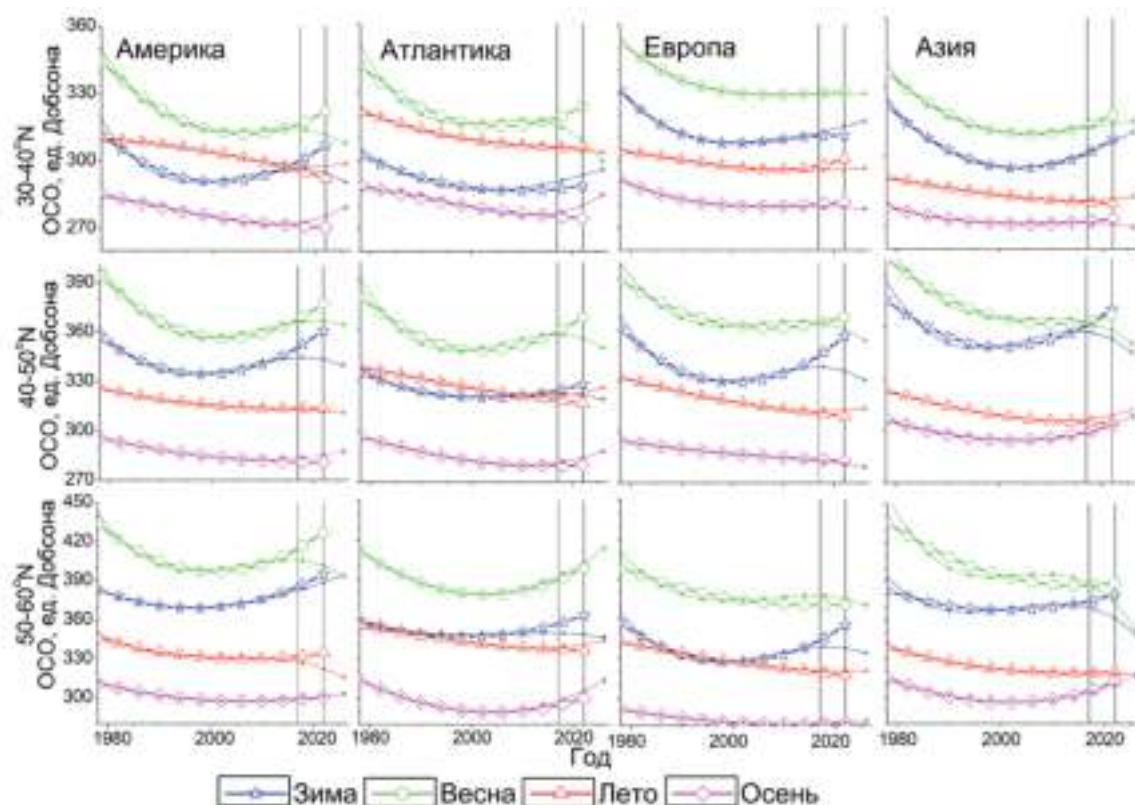


Рисунок 2 – Сезонные многолетние тренды ОСО над различными регионами. Результаты, полученные с кубической моделью тренда, представлены кривыми с малыми закрашенными символами по сравнению с расчетами с квадратичной моделью [1]. Вертикальными линиями, соответствующими 2017 и 2022 гг., обозначены верхние границы периодов, данные за которые использованы для расчетов

Европа. В низких широтах прогноз на основе квадратичного тренда оказался вполне удовлетворительным. Однако в регионах, относящихся к более высоким широтам, заметны отличия от расчетов с использованием кубической модели и расширенного ряда данных. В частности, прогнозировавшийся рост ОСО в зимнее время не оправдался: кубическая модель показывает медленное снижение. В весеннее время прогноз «обещал» почти стабильное поведение ОСО, а расчеты показали его постепенное снижение. В тоже время, летний и осенний прогнозы полностью подтверждаются.

Азия. В самом южном регионе прогнозы практически совпали с новым расчетом. Это же касается летнего и осеннего многолетних трендов и в двух других регионах. Ошибочность прогноза проявилась в этих регионах только в зимний и весенний периоды: предполагавшийся рост ОСО в действительности оказался его снижением.

Наметившаяся тенденция снижения среднегодовых значений ОСО в атлантическом регионе 40–50 °N в основном обусловлена понижением ОСО в весенние месяцы, быстрое уменьшение среднегодовых значений ОСО в азиатском регионе 50–60 °N – понижением в зимние и весенние сезоны. Это совершенно не связано с продолжающимся очищением стратосферы от озоноразрушающих веществ, способствующим восстановлению озонового слоя, и следует искать другие причины, как делается, например, в [3]. Здесь выявлены сезоны в отдельных регионах, представляющие интерес для поиска таких причин.

Многолетние тренды среднегодовых значений ОСО, а также сезонные тренды, полученные с новой моделью, хорошо согласуются с результатами расчетов по квадратичной модели тренда в интервале 1978 г. – 2017 г., использованном в [1]. При этом, изменение модели тренда с квадратичной на кубическую (за счет добавления в модель дополнительных степеней свободы) привело к статистически значимому улучшению модели.

Прогноз поведения озонового слоя, представленный в [1], в ряде случаев оправдался, в ряде – нет. Одной из основных причин является не слишком подходящая для данного случая полиномиальная аппроксимация тренда ОСО, использованная в расчетах. Повысить достоверность прогноза можно посредством учета дополнительной информации о характере физических и химических процессов в озоновом слое планеты с целью введения обоснованных ограничений на модель многолетнего тренда ОСО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Божкова В.В. Трансформация озонового слоя в средних широтах Северного полушария / В. В Божкова, А. М. Людчик, С. Д. Умрейко // Природные ресурсы. – 2018. – № 2. – С. 102–111.
2. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. – 2017. - WMO-No. 1203. – 29 p.



3. Global total ozone recovery trends attributed to ozone-depleting substance (ODS) changes derived from five merged ozone datasets / M. Weber [et al.] // *Atmos. Chem. Phys.* – 2022. – Vol. 22. – P. 6843–6859.
4. Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2019 / G. H. Bernhard [et al.] // *Photochem. Photobiol. Sci.* – 2020. – Vol. 19. – P. 542–584.
5. NASA Ozone Watch [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data>. – Date of access: 14.11.2022.

**ЭФФЕКТИВНАЯ МЕТОДИКА УЧЕТА НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА ОТ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ  
И КОНЦЕНТРАЦИЙ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА**

**EFFICIENT METHOD FOR ACCOUNTING OF THE NONLINEAR DEPENDENCE  
OF THE SURFACE-LEVEL OZONE CONCENTRATION ON METEOPARAMETERS  
AND CONCENTRATIONS OF ANTHROPOGENIC AIR POLLUTANTS**

**А. М. Людчик<sup>1</sup>, А. Н. Акимов<sup>1</sup>, П. Н. Павленко<sup>2</sup>**  
**A. M. Liudchik, A. N. Akimov, P. N. Paulenka**

*<sup>1</sup>Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь  
liudchikam@tut.by*

*<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
pavlenko\_pn@mail.ru*

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, the Republic of Belarus  
Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus*

Представлено обоснование и описание методики учета нелинейности в зависимости концентрации приземного озона от метеоусловий и концентраций антропогенных загрязнений воздуха в месте наблюдений. Авторы доклада предприняли попытку объединить все наиболее эффективные подходы к построению уравнения регрессии для концентрации приземного озона, предложенные ранее.

The substantiation and description of the methodology for accounting of nonlinearity in the dependence of surface-level ozone concentration on meteorological conditions and concentrations of anthropogenic air pollution at the observation site is presented. The authors of the report make an attempt to combine all the most effective approaches to constructing a regression equation for the concentration of surface-level ozone proposed earlier.

*Ключевые слова:* приземный озон, уравнение регрессии, нелинейность, метеорологические условия, антропогенные загрязнители воздуха.

*Keywords:* surface-level ozone, regression equation, nonlinearity, meteorological conditions, anthropogenic air pollutants.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-257-260>

Приземный озон является вторичным загрязнителем атмосферы, поскольку в основном образуется за счет фотолиза коротковолновым солнечным излучением других загрязнителей воздуха естественного и антропогенного происхождения. Часть приземного озона формируется также за счет обмена воздухом между тропосферой и стратосферой, где концентрации озона особенно велики. Ввиду сказанного, наблюдаемые концентрации озона у поверхности земли существенно зависят от метеорологических условий и уровня загрязнения приземного воздуха прекурсорами озона.

Озон считается опасным загрязнителем, так как угнетающе действует на живые организмы и способствует разрушению материалов. Поэтому задача изучения климатологии приземного озона и получения его достоверного прогноза на будущее с учетом меняющегося климата и экологической обстановки весьма актуальна.

В Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы (НИИЦ МО) было предложено уравнение регрессии [1], описывающее зависимость концентрации приземного озона от метеоусловий и концентраций антропогенных загрязнителей воздуха в месте наблюдений. Уравнение является аппроксимацией зависимости приземного озона от влияющих на него факторов многочленом Тэйлора с учетом членов второго порядка.



В качестве точки, около которой ведется разложение в ряд, удобно выбрать значения объясняющих переменных, отвечающие климатической норме «чистой атмосфере Беларуси», а именно: для метеопараметров – их климатические нормы для г. Минска, для концентраций антропогенных загрязнений – средние значения для Бerezинского биосферного заповедника, весьма слабо отличающиеся от нуля [2]. Такой подход является дальнейшим развитием предложенной в [1] концепции однородности в пределах небольшой по территории страны поля приземного озона, которое подвержено местным флуктуациям из-за различий в метеорологических условиях и степени антропогенного загрязнения воздуха. Именно по отношению к названной норме следует оценивать наблюдаемые флуктуации концентрации приземного озона в зависимости от места наблюдений (местных метеорологических условий и концентраций прекурсоров).

Сравнение результатов расчетов по полученному уравнению регрессии с данными наблюдений в областных центрах Беларуси показывает удовлетворительное соответствие [3]. Об этом также свидетельствует величина доли объясненной уравнением регрессии дисперсии по отношению к дисперсии экспериментальных результатов, составляющая немногим более 60%. Тем не менее, несмотря на случаи, когда имеется вполне хорошее согласие между измеренными значениями концентрации приземного озона и расчетными данными, довольно часто выявляются существенные расхождения.

Список объясняющих переменных уравнения регрессии, учитывающий только основные переменные и их взаимные произведения, возможно недостаточен, несмотря на предпринятые действия по выбору «точки отсчета», около которой ведется разложение. Проведенные в [2] вычислительные эксперименты показали, что добавленные переменные в виде произведений трех и четырех основных переменных, интерпретирующие члены более высоких порядков разложения Тэйлора, имеют заметный коэффициент корреляции с озоном. Сказанное следует интерпретировать как наличие существенной нелинейности в зависимости концентрации приземного озона от объясняющих переменных, что препятствует точному описанию этой зависимости разложением в многочлен Тэйлора. Более плодотворным может оказаться вариант с введением явных нелинейных зависимостей озона от переменных.

Известно [4], что в отсутствие в приземном воздухе летучих органических соединений быстро устанавливается фотохимическое равновесие между концентрациями озона  $O_3$  и оксидов азота  $NO$ ,  $NO_2$  с учетом интенсивности фотохимически активного солнечного излучения:

$$O_3 \cdot NO = J/k \cdot NO_2, \quad (1)$$

Здесь  $J$  определяет объемную плотность солнечного излучения, приводящего к фотодиссоциации диоксида азота,  $k$  – скорость реакции образовавшегося оксида азота с озоном.

В обзоре [5] анализируются различные подходы к решению задачи статистической оценки влияния метеорологических условий на приземный озон. Отвлекаясь от новых, весьма универсальных методов, таких как, например, нейронные сети, не используя дополнительные физические и химические знания об изучаемых процессах, сконцентрируемся на решениях, связанных с модификацией уравнения регрессии. В частности, в названном обзоре упоминаются подходы с использованием уравнения линейной регрессии не для самой объясняющей переменной, а для ее квадратного корня или логарифма, и для этого можно привести физическое обоснование. Именно построение уравнения регрессии для логарифма концентрации приземного озона довольно популярно и представлено во многих публикациях. Действительно, если взять логарифм выражения (1), получим

$$\ln(O_3) = \ln(J) + \ln(NO_2) - \ln(k) - \ln(NO),$$

и модифицированное уравнение начинает линейно зависеть от логарифмов концентраций оксида и диоксида азота, скорости фотолиза и скорости реакции озона с оксидом азота. Кстати, логарифм скорости упомянутой реакции, экспоненциально зависящей от температуры, зависит от нее уже практически линейно с учетом того, что в показатель экспоненты входит абсолютная температура, а не выраженная в градусах Цельсия.

Конечно, соотношение (1) чрезвычайно упрощено и не учитывает множества других факторов, влияющих на озон, а также реально существующее их взаимовлияние. Однако достигнутый прогресс в линеаризации весьма сложной зависимости вселяет оптимизм и позволяет надеяться на существенное улучшение аппроксимации зависимости приземного озона от метеоусловий и прекурсоров.

В публикациях, цитируемых в обзоре, имеются существенные различия в применении в качестве объясняемой переменной логарифма концентрации озона, а не непосредственно его концентрации. Эти различия заслуживают обсуждения.

Так, в ряде публикаций, цитируемых в обзоре, авторы обсуждают необходимость четкого разделения различных масштабов движения, включенных в данные временных рядов озона, а именно: краткосрочные изменения (связанные с погодой), сезонные изменения (вызванные изменением поступающей солнечной энергии) и долгосрочные тенденции (связанные с изменением климата). Такая процедура обеспечит лучшее понимание основных физических процессов, которые влияют на уровни озона в окружающей среде. Пространственная и временная информация в данных временных рядов озона, неясная до разделения, впоследствии четко отображается после осуществления такого разделения. Однако упомянутое разделение удастся осуществить только в случае его применения к логарифму измеренных концентраций озона, а не непосредственно к ним.

Разделение временных рядов озонных и метеорологических данных на синоптические, сезонные и долгосрочные компоненты необходимо, поскольку процессы, происходящие на разных частотах, вызваны различными физическими явлениями. Компонент синоптического масштаба связан с погодой и кратковременными

колебаниями концентраций прекурсоров, сезонный компонент зависит от изменения солнечного угла, а долгосрочный – с изменениями климата, политики и / или экономики. С учетом сказанного временные ряды данных об озоне и температуре представляются в виде

$$O_3(t) = e(t) + S(t) + W(t), \quad T(t) = e'(t) + S'(t) + W'(t),$$

где  $O_3(t)$  – натуральный логарифм исходного временного ряда концентрации озона, а  $T(t)$  – временной ряд температуры,  $e(t)$  – долгосрочный (трендовый) компонент,  $S(t)$  – сезонное изменение,  $W(t)$  – кратковременное изменение, а  $t$  – время.

Логарифмическая шкала важна для четкого разделения компонентов озона, как и выбор метода разделения, поскольку фильтрация непосредственно измеренных концентраций озона оставляет в кратковременном компоненте  $W(t)$  заметную сезонную составляющую.

В одной из цитируемых в обзоре публикаций логарифмы ежечасных измерений концентрации приземного озона использованы для регрессионного анализа зависимости наблюдаемой концентрации от метеоусловий и загрязнения воздуха. Преобразование объясняемой переменной – концентрации приземного озона к логарифмическому масштабу – оказывается требованием приведения ежедневных наблюдений за максимальными среднечасовыми значениями озона в соответствие с условием применимости множественной линейной регрессии: данные должны быть нормально распределены. Названное преобразование очень хорошо справляется с задачей. В другой публикации почасовые данные измерений также предварительно преобразовывались к логарифму и группировались в суточные значения для применения в уравнении регрессии. Кроме этого, данные о загрязнении брались со сдвигом на более раннее время для учета времени, необходимого для прохождения химических реакций. Этот весьма оригинальный подход позволил определить оптимальное время запаздывания – 1 час. В методе, развиваемом в НИИЦ МО, данные о приземном озоне и загрязнениях усредняются около метеорологических сроков наблюдений (через каждые 3 часа), и такое запаздывание в этом случае представляется несущественным.

На рис. 1 в качестве наглядного примера, демонстрирующего изменения в исходных данных после их логарифмирования, приведены результаты измерений концентрации приземного озона в марте 2019 г. на пункте 06 г. Могилева. Сразу бросается в глаза существенное сокращение динамического диапазона изменения объясняемой переменной при переходе к логарифмам ее значений.

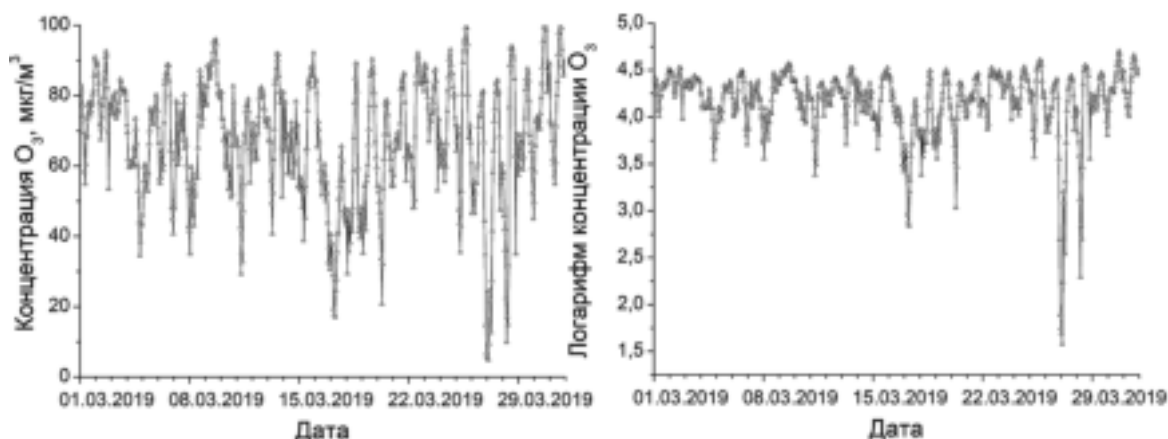


Рисунок 1 – Концентрации приземного озона, зарегистрированные в марте 2019 г. на пункте 06 г. Могилева, и их логарифмы

Здесь следует обратить внимание на одну существенную особенность методики, используемой в НИИЦ МО, которая не позволяет непосредственно перейти от аппроксимации концентрации приземного озона с помощью уравнения линейной регрессии к аппроксимации логарифма его концентрации. Дело в том, что изначально в методике НИИЦ МО уравнение регрессии использовалось для приближения не зависимости полной наблюдаемой концентрации озона  $O_3(t)$ , а зависимости ее отклонения  $\Delta O_3(t)$  от климатической нормы озона в «чистой» атмосфере региона  $O_{3N}(t)$  [1]:

$$O_3(t) = O_{3N}(t) + \Delta O_3(t). \quad (2)$$

Были приведены вполне убедительные соображения в пользу такого подхода. В частности, основная часть сезонной и суточной изменчивости приземного озона удовлетворительно описывается поведением его климатической нормы, и это позволяет предположить независимость коэффициентов регрессии от сезона и времени суток. Первое предположение было подтверждено пробными расчетами в [2], допустимость второго пока не проверялась. С учетом сказанного желательно сохранить указанные преимущества и при разработке нового подхода к построению уравнения регрессии.

В случае применения предложенного подхода логарифм концентрации озона есть логарифм суммы климатической нормы озона и отклонения от нормы. Поэтому требуются дополнительные усилия, чтобы обосновать непротиворечивую методику учета нелинейности в зависимости концентрации приземного озона от метеоусловий и загрязнений воздуха, не отказываясь от использованного ранее представления наблюдаемой концентрации озона в виде (2).

Возьмем логарифм от выражения (2):

$$\ln[O_3(t)] = \ln[O_{3N}(t)] + \ln[1 + \Delta O_3(t) / O_{3N}(t)]. \quad (3)$$

Представление логарифма концентрации озона в виде (3) допустимо, поскольку ни норма озона, ни наблюдаемая концентрация никогда не обращаются в ноль. Следовательно:  $\Delta O_3(t) / O_{3N}(t) > -1$ .

Именно второе слагаемое в (3) и предлагается аппроксимировать линейной регрессией:

$$\ln[1 + \Delta O_3(t) / O_{3N}(t)] \approx a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x_i, \quad (4)$$

где  $a_i$  – коэффициенты регрессии,  $a_0$  – свободный член,  $x_i$  – объясняющие переменные,  $N + 1$  – полное число объясняющих переменных. Необходимость присутствия свободного члена обусловлена неполным учетом всех факторов, оказывающих влияние на приземный озон. В некоторой степени он компенсирует несовершенство расчетов с ограниченным числом основных объясняющих переменных. Как и в [1], допустимо использование дополнительных объясняющих переменных в виде произведений основных для учета их взаимовлияния.

Если предположить малость реальных отклонений концентрации озона от климатической нормы, выражение (3) можно приближенно представить в виде

$$\ln[O_3(t)] = \ln[O_{3N}(t)] + \Delta O_3(t) / O_{3N}(t).$$

Это выражение весьма близко к тому, что использовалось в [1], если отвлечься от того, что сейчас используются логарифмы концентрации озона и его климатической нормы, а также относительное отклонение наблюдаемой концентрации озона от нормы. Возможно, построение уравнения регрессии было бы проще реализовать на основании приведенного выражения. Однако наблюдаемые отклонения от нормы весьма часто существенно отличаются от нее, и первое приближение для разложения логарифма – не очень удачный выбор. Поэтому рациональнее для построения уравнения регрессии использовать точное выражение (3).

Исходя из выражения (4) оценка отклонения измеренной концентрации озона от ее климатической нормы выглядит следующим образом:

$$\Delta O_3(t) = O_{3N}(t) [\exp(a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x_i) - 1].$$

Именно эту величину и следует сравнивать с измеренными отклонениями от нормы для оценки эффективности предложенной методики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Статистическая оценка антропогенного воздействия на приземный озон / А. М. Людчик [и др.] // Природные ресурсы. – 2015. – №1. – С. 95–105.
2. Климатическая норма приземного озона в чистой атмосфере Беларуси / В. В. Божкова [и др.] // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 94–103.
3. Божкова В.В. Флуктуации поля приземного озона в Беларуси, обусловленные метеорологическими условиями и антропогенным загрязнением воздуха / В. В. Божкова, А. М. Людчик, Е. А. Мельник // Природные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 80–91.
4. Jenkin, M. E. Ozone and Other Secondary Photochemical Pollutants: Chemical Process Governing their Formation in the Planetary Boundary Layer / M. E. Jenkin, and K. C. Clemitshaw // Atmospheric Environment. – 2000. – Vol. 34. – P. 2499 – 2527.
5. A review of Statistical Methods for the Meteorological Adjustment of Tropospheric Ozone / M. L. Thompson [et al.] // Atmospheric Environment. – 2001. – Vol. 35. – P. 617–630.

# ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ОБЛАСТНЫХ ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

## FEATURES OF ANTHROPOGENIC AIR POLLUTION IN REGIONAL CITIES OF BELARUS

**А. Н. Акимов<sup>1</sup>, Е. А. Мельник<sup>2</sup>, П. Н. Павленко<sup>3</sup>**

**A. N. Akimov, E. A. Melnik, P. N. Paulenka**

<sup>1</sup>Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы  
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь, [liudchikam@tut.by](mailto:liudchikam@tut.by)

<sup>2</sup>Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения  
и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Республика Беларусь, [kbb@rad.org.by](mailto:kbb@rad.org.by)

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, [pavlenko\\_pn@mail.ru](mailto:pavlenko_pn@mail.ru)

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, the Republic of Belarus*

*Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus*

*Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring,  
Minsk, the Republic of Belarus*

*Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus*

Приведены сведения об уровнях загрязнения воздуха в городах Беларуси антропогенными выбросами и озонном. Обсуждаются суточный и сезонный ход концентраций загрязнений и их различие в разных городах. Наблюдаемое различие обусловлено не только разными источниками загрязнений воздуха и их интенсивностью, но также и различием в метеорологических условиях.

The data on air pollution caused by anthropogenic emissions and ozone in the cities of Belarus is given. The daily and seasonal variability of pollution concentrations and their distinction in different cities are discussed. The observed difference is due not only to various sources of air pollution and its intensity, but also to the differences in meteorological conditions.

*Ключевые слова:* приземный озон, метеорологические условия, антропогенные загрязнители воздуха.

*Keywords:* surface-level ozone, meteorological conditions, anthropogenic air pollutants.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-261-264>

Анализ результатов наблюдений за загрязнителями воздуха в городах Беларуси проведен на основе их среднемесячных концентраций, определенных за весь период наблюдений. В [1,2] для каждого пункта анализировались только те месяцы, в течение которых можно было получить данные о концентрациях полного списка загрязнителей, регистрируемых на автоматических пунктах мониторинга атмосферного воздуха Национальной системы мониторинга окружающей среды. Это обосновывалось необходимостью использования полученной полной информации для исследования поведения приземного озона в условиях антропогенного загрязнения воздуха. В данном докладе авторы отказались от такого ограничения, что позволило заметно увеличить объем данных в отношении каждого отдельного загрязнителя или их группы (табл. 1). Также проведено усреднение среднемесячных концентраций загрязнителей воздуха за весь период наблюдений по каждому пункту и по каждому городу, в котором имелось более одного пункта наблюдений. Это позволило получить представление о среднем уровне загрязнения воздуха в каждом из областных городов Республики. Сразу следует отметить, что кроме источников выбросов на уровень загрязнения воздуха существенно влияют также и метеорологические условия, несколько различающиеся в разных городах. Поэтому судить об интенсивности источников выбросов по представленным данным не получается. Эту задачу можно решить только посредством коррекции результатов наблюдений с целью приведения их к одинаковым метеорологическим условиям. Исследования в этом направлении ведутся в Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы (ННИЦ МО) в течение ряда лет, однако проблема пока далека от разрешения.

Суточный ход концентраций антропогенных загрязнителей воздуха в городах Беларуси детально рассмотрен в [3]. Установлено, что чаще всего повышенные концентрации загрязнителей наблюдаются в утреннее и вечернее время суток. При этом вечерний максимум сдвигается на более позднее время в весенне-летний сезон. Установлена также причина такого сдвига: это смещение во времени вечернего повышения вертикальной устойчивости пограничного слоя воздуха.

Помимо этого анализ данных наблюдений подтверждает хорошо известный «эффект выходного дня» [4]: в выходные дни антропогенное загрязнение воздуха в городах уменьшается. Для подтверждения удобнее всего воспользоваться результатами статистической обработки наблюдений, как это делалось в [3], поскольку

существенное влияние на уровень загрязнения оказывают метеорологические условия. В зависимости от них суточный ход концентраций загрязнений может существенно меняться, и ожидаемое снижение концентраций в выходные дни маскироваться за счет меняющейся погоды.

Таблица 1

*Количество лет наблюдений, использованных для расчета многолетнего среднего месячного значения концентрации загрязнителя воздуха на пунктах наблюдений*

| Город, пункт | СО                                 | NO <sub>2</sub> , NO             | ЛОС                         | O <sub>3</sub>                      |
|--------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Зап. 01      | 3,3,2,2,3,3,1,0,1, 1,1,2           | 6,6,6,4,5,5,4,4,3,5,6,5          | 7,8,6,5,6,7,5,4,4,6,5,7     | 6,7,5,5,5,6,4,3,3,5,5,6             |
| Бр. 01       | 7,8,8,7,8,7,7,6,5, 6,8,7           | 7,8,8,7,7,6,8,7,5,6,8,6          | 6,7,7,6,7,7,7,5,6,8,6       | 7,8,8,7,8,7,8,7,5,6,8,7             |
| Гом. 14      | 9,7,7,6,6,7,6,3,5, 7,9,9           | 9,7,6,5,4,7,6,3,5,6,8,9          | 9,8,7,7,6,7,6,3,5,8,9,9     | 9,8,7,6,4,7,5,3,4,8,9,9             |
| Гро. 07      | 9,9,9,8,8,4,6,6,5,8,7,7            | 8,8,8,7,6,5,3,4,5,6,5,6          | 9,9,9,8,8,5,6,6,5,7,7,7     | 9,9,9,8,8,5,6,5,4,8,7,7             |
| Мо.04        | 11,10,9,9,10,10,11,10, 10,10,10,11 | 11,11,8,9,10,9,10,10,9, 10,10,11 | 11,10,8,9,9,9,10,9,9,11, 11 | 11,11,9,10,10,10,10,1 0,10,10,10,11 |
| Мо.06        | 6,6,6,5,5,6,6,6,6, 6,5,6           | 6,5,6,5,5,4,4,5,5,6,5,6          | 6,6,6,5,5,6,6,6,6,6,6,6     | 6,6,6,5,5,6,6,6,6,6,5,6             |
| Ви.03        | 4,5,6,5,5,1,2,2,3, 3,3,4           | 4,4,5,4,3,2,2,2,1,3,3,3          | 6,7,7,7,6,4,4,3,3,5,5,7     | 6,7,7,7,6,3,3,3,3,4,5,6             |
| Ми.01        | 3,2,3,1,1,0,1,2,2, 2,2,1           | 1,1,1,1,2,1,1,2,1,1,0,1          | 3,3,3,2,2,1,1,2,1,2,2,2     | 5,5,4,3,3,2,2,2,2,4,3,4             |
| Ми.04        | 1,2,3,4,5,1,1,1,2, 2,2,2           | 1,2,2,1,1,1,1,2,1,1,1,1          | 1,4,4,3,4,2,2,3,2,2,2,3     | 4,6,7,5,6,3,3,4,3,4,5,4             |
| Ми.11        | 6,5,5,5,5,4,5,4,4, 6,6,6           | 5,5,5,5,5,4,5,2,2,5,4,5          | 3,4,3,3,3,2,3,2,2,3,2,2     | 6,6,6,5,5,5,5,4,4,6,6,6             |
| Ми.13        | 3,3,4,3,4,1,2,3,3, 2,1,2           | 1,0,1,2,3,1,1,2,1,0,0,1          | 4,2,2,3,4,2,2,4,2,2,1,3     | 6,5,5,3,6,4,4,6,5,5,4,5             |
| Ми.16        | 3,3,3,2,2,3,2,3,2, 4,4,4           | 2,2,2,2,2,2,2,2,2,4,4,4          | 3,3,3,2,2,1,1,1,2,3,3,4     | 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0             |

Далее представлены результаты обработки месячных данных о следующих загрязнителях воздуха или их группах.

1. Приземный озон.
2. Оксид углерода.
3. Оксид и диоксид азота.
4. Летучие органические соединения (сумма концентраций бензола, толуола и ксилола в единицах ppb).

На рис. 1, 2 приводятся многолетние средние месячные значения концентраций загрязнений воздуха для городов, в которых имеются несколько пунктов наблюдений. Это Минск и Могилев.

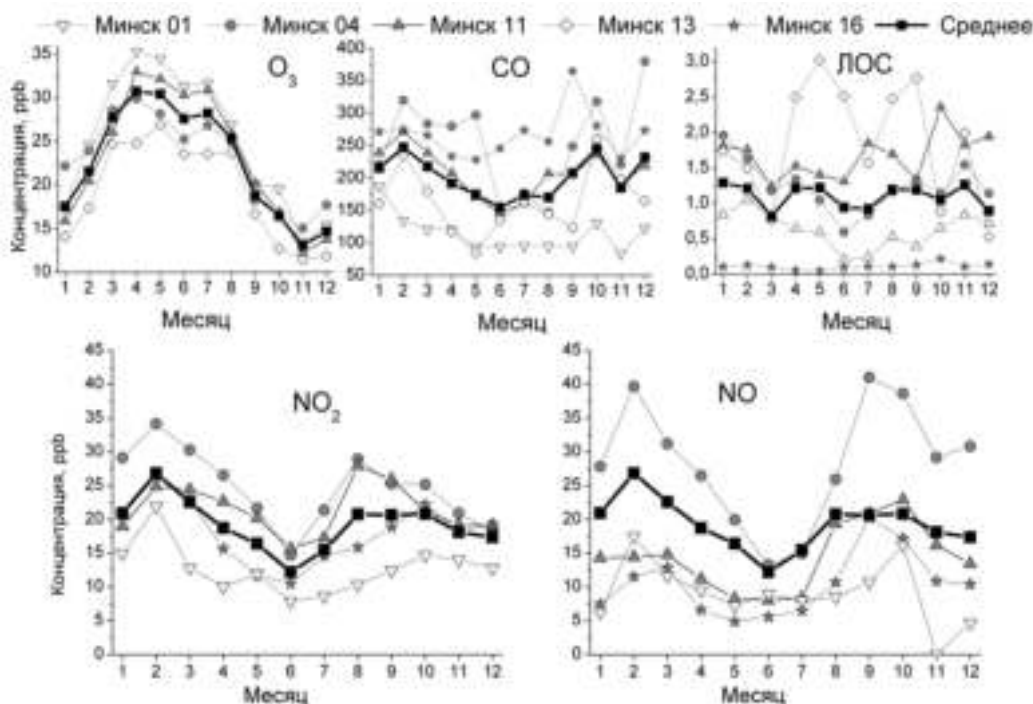


Рисунок 1 – Многолетние средние месячные концентрации загрязнений, зарегистрированных на пунктах 01, 04, 11, 13, 16 г. Минска, и их среднее.

На графике ЛОС представлена сумма концентраций бензола, толуола и ксилола, переведенных в единицы ppb



Из рис. 1 видно, что наиболее высокий уровень загрязнения воздуха оксидом углерода в Минске фиксируется на пунктах 04 (бывший Радиаторный завод) и 16 (Уручье), оксидами азота – на пунктах 04 и 11 (Курасовщина), а летучими органическими соединениями – на пунктах 11 и 13 (Дражня). Кстати, самые высокие концентрации приземного озона определяются на пункте 01 (Обсерватория), самом чистом в отношении почти всех исследуемых антропогенных загрязнений. Это подтверждает ранее сделанные выводы [1–3] о том, что специфика и уровень антропогенного загрязнения воздуха не способствуют генерации озона в приземном воздухе. Аналогичные результаты представлены и на рис. 2 для г. Могилева. В городе имеются 2 пункта наблюдений: один (04) расположен в промышленном районе, второй (06) – в «спальном». Интересно, что среднемесячные концентрации СО и летучих органических соединений на обоих пунктах не сильно различаются. А концентрации оксидов азота в спальном районе оказываются заметно ниже, чем в промышленном. С учетом сказанного выше очевидно, что концентрации приземного озона в спальном районе будут выше, чем в промышленном.

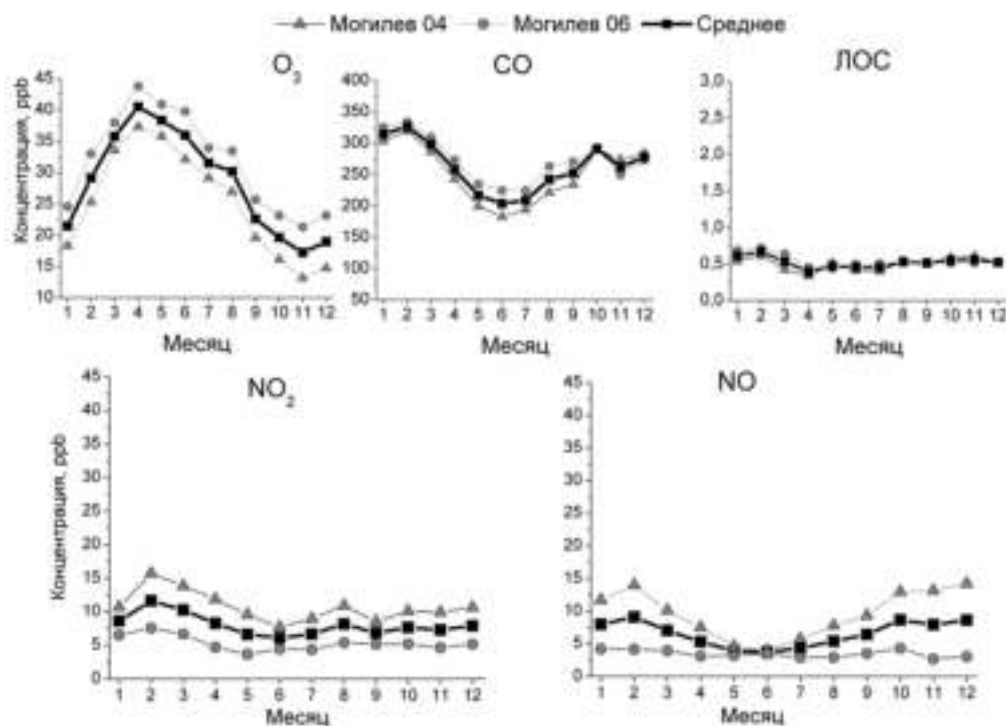


Рисунок 2 – Многолетние среднемесячные концентрации загрязнений, зарегистрированных на пунктах 04, 06 г. Могилева и их среднее.

На графике ЛОС представлена сумма концентраций бензола, толуола и ксилола, переведенных в единицы ppb

На рис. 3 показан осредненный за время наблюдений сезонный ход концентраций рассматриваемых антропогенных загрязнений воздуха и приземного озона в областных городах Беларуси и Березинском биосферном заповеднике. Видно, что, как и следовало ожидать, самый чистый воздух – в Березинском заповеднике. Однако можно заметить, что в Бресте, Могилеве и Гродно концентрации приземного озона в весенне-летний период оказываются выше, чем в Заповеднике, несмотря на существенно более высокий уровень антропогенного загрязнения воздуха в городах и отрицательного воздействия антропогенных загрязнителей воздуха на приземный озон в условиях Беларуси. Объяснение следует искать в различии метеоусловий и трансграничном переносе загрязнений и озона. В частности, наблюдаемые на всех рисунках провалы в максимальных суточных концентрациях загрязнений городского воздуха в летний период обусловлены просто интенсификацией вертикального перемешивания атмосферы, способствующего очищению приземного воздуха.

Концентрации оксида углерода слабо различаются в отдельных городах, наиболее высокие – в Гомеле, наиболее низкие – в Минске. Что касается летучих органических соединений, то здесь все наоборот: самые высокие – в Минске, самые низкие – в Гомеле. А по уровню загрязнения оксидами азота оба названных города являются лидерами среди областных центров Республики.

Чтобы объяснить особенности загрязнения воздуха в отдельных городах, необходима детальная информация об источниках загрязнений и их интенсивности. Если основной вклад в выбросы оксида углерода и оксидов азота вносит транспорт, то с летучими органическими соединениями ситуация более сложная, поскольку их мощными источниками могут быть и отдельные промышленные предприятия.

Альтернативный вариант заключается в разработке методики приведения результатов наблюдений за загрязнением воздуха к одинаковым метеорологическим условиям. В таком случае их можно непосредственно сравнивать для разных городов, игнорируя возможные различия в метеорологических условиях. Это весьма перспективный подход, открывающий широкие возможности анализа экологической обстановки в городах Беларуси и выработки рекомендаций по ее улучшению.

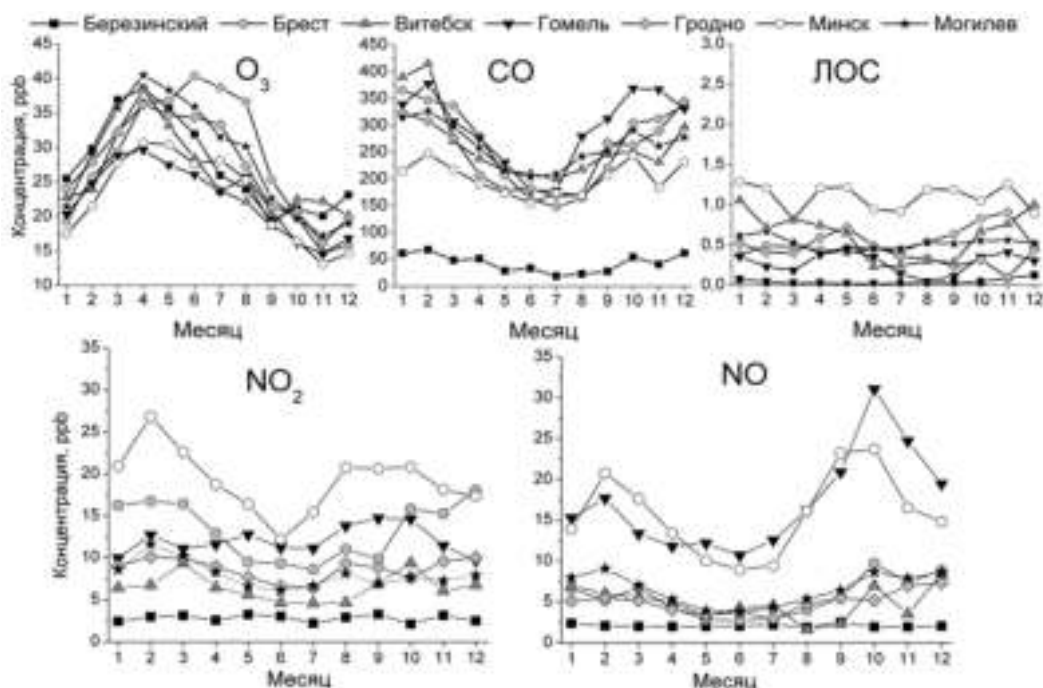


Рисунок 3 – Многолетние среднеемесячные концентрации загрязнений в областных городах Беларуси. На графике ЛОС представлена сумма концентраций бензола, толуола и ксилола, переведенных в единицы ppb

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Людчик А. М. Антропогенное загрязнение воздуха оксидом углерода и оксидами азота в городах Беларуси / А. М. Людчик, Е. А. Мельник, П. Н. Павленко // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й Международной научной конференции, 19–20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч./ Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батын [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – С.155–158.
2. Антропогенное загрязнение воздуха бензолом, толуолом и ксилолом в городах Беларуси / А. М. Людчик и [др.] // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й Международной научной конференции, 19–20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч./ Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батын [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – С. 145-148.
3. Bozhkova V. V. Influence of meteorological conditions on urban air pollution / V. V. Bozhkova, A. M. Liudchik, S. D. Umreika // Acta Geographica Silesiana. - 2020. – Vol. 14/4. -P. 5-21.
4. Brönnimann S. T. Weekend-weekday differences of near-surface ozone concentrations in Switzerland for different meteorological conditions / S. T. Brönnimann, U. Neu // Atmospheric Environment. – 1997. – Vol. 31, No 8. – P. 1127–1135.

## МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ MOBILE APPLICATION FOR INDIVIDUAL HEALTH MONITORING

**А. Л. Карпей<sup>1,2</sup>, А. Р. Самойлова<sup>1,2</sup>**  
**A. L. Karpeĭ<sup>1,2</sup>, A. R. Samoilova<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: kar\_an@tut.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, the Republic of Belarus

С использованием языка программирования Python и среды разработки PyCharm разработано приложение для устройств с операционной системой Android для индивидуального контроля состояния здоровья при диабете 2 типа. Приложение предоставляет пользователю возможность отслеживать физическую активность, кровяное давление, питание, уровень глюкозы в крови, а также напоминает о приеме необходимых лекарств с помощью уведомлений.

Using the Python programming language and the PyCharm development environment, an application for devices with the Android operating system for individual health monitoring of patients with type 2 diabetes has been developed. The application provides the user with the ability to track physical activity, blood pressure, nutrition, blood glucose levels, and also reminds the user about taking the necessary medications using notifications.

*Ключевые слова:* мобильное приложение, сахарный диабет, контроль питания, давление, глюкоза, хлебная единица, гликемический индекс, заболеваемость, электронный дневник, физическая активность.

*Keywords:* mobile application, diabetes mellitus, nutrition control, blood pressure, glucose, bread unit, glycemic index, morbidity, electronic diary, physical activity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-264-268>

Целью работы является создание электронного дневника, который позволит значительно облегчить контроль над диабетом 2 типа. Основными задачами приложения являются: отслеживание питания, физической активности, кровяного давления, уровня глюкозы в крови. Так же приложение должно отправлять уведомления с напоминанием о необходимости принять лекарства и предоставлять пользователю наглядные отчеты в виде графиков.

Сахарный диабет (СД) – часто встречающееся хроническое заболевание эндокринной системы. По статистике, по заболеваемости диабет находится на третьем месте после рака и заболеваний сердечно – сосудистой системы.

Согласно данным статистики, от сахарного диабета страдает практически 5–6% населения. Однако эти данные свидетельствуют лишь о выявленных заболеваниях. Реальное количество людей, больных диабетом, гораздо больше, так как многие из них имеют скрытую форму, которая до проявления теми или иными симптомами развивается незаметно. Около 90 % всех случаев заболеваний сахарным диабетом приходится на сахарный диабет 2 типа – инсулиннезависимый диабет, хроническое заболевание, при котором организм не может эффективно использовать инсулин, который вырабатывается клетками поджелудочной железы в достаточном количестве.

В Республике Беларусь на начало 2022 года состояли под наблюдением 360 тысяч 532 пациента с сахарным диабетом, из них 18 тысяч 542 человека имели диагноз «СД 1-го типа», 338 тысяч 86 человек – «СД 2-го типа». Ежегодный прирост числа таких пациентов в нашей стране составляет 5–8 %. За последние 20 лет количество страдающих СД увеличилось в 3 раза [1]. Среди основных причин роста заболеваемости сахарным диабетом типа 2 называют старение населения и распространение ожирения. Известно, что при увеличении продолжительности жизни растет и число так называемых «нормальных болезней старения». К этим болезням относят ожирение, артериальную гипертензию, атеросклероз, климакс, депрессию, рак, сахарный диабет

При сахарном диабете 2 типа отмечается относительный дефицит инсулина. Клетки поджелудочной железы при этом вырабатывают достаточно инсулина (иногда даже повышенное количество). Однако на поверхности клеток блокировано или уменьшено количество структур, которые обеспечивают его контакт с клеткой и помогают глюкозе из крови поступать внутрь клетки. Дефицит глюкозы в клетках является сигналом для еще большей выработки инсулина, но это не дает эффекта, и со временем продукция инсулина значительно снижается [1–3].

Общее лечение диабета для всех пациентов предполагает изменение образа жизни:

#### 1. Здоровая диета:

Одним из важных моментов лечения сахарного диабета является диета. Калорийность суточного рациона должна соответствовать энергозатратам конкретного больного, рассчитанным с учетом его массы тела, возраста, пола, профессии.

К примеру, при диабете 2-го типа только благодаря диете в определенных случаях удастся удерживать нормальный уровень глюкозы крови. Однако, чтобы добиться отличных результатов компенсации заболевания, важно знать, что нельзя есть при сахарном диабете, какие продукты стоит максимально ограничить, а какие можно употреблять без ограничений.

Такая профилактика дается современному человеку сложно, но без строгой растительной диеты все остальные меры практически бесполезны. При этом стоит значительно ограничить мучные продукты и картофель.

Для тех, кто попадает в группу риска заболевания или уже имеет некоторые проблемы с содержанием уровня сахара в крови, следует включить в свой ежедневный рацион:

- зелень,
- томаты,
- грецкий орех,
- болгарский перец,
- брюкву,
- фасоль,
- цитрусовые.

Для контроля питания при сахарном диабете часто используются такие понятия как хлебные единицы и гликемический индекс.

- Хлебные единицы (ХЕ) – помогают рассчитать количество, объем углеводов в любой пище. 1 хлебная единица – это количество продукта, в котором содержится 10 г углеводов.

- Гликемический индекс (ГИ) – показывает скорость расщепления углеводов в продуктах, затрат организма на их переработку.

Ежесуточно при сахарном диабете любого типа можно потреблять до 18–24 хлебных единиц, или до 7 хлебных единиц за один приём пищи во всех продуктах, но в зависимости от возраста, веса. С учётом того, что для коррекции диабета требуется придерживаться дробного питания, то есть 5–6 раз в сутки, распределение всего объема хлебных единиц в еде должно соответствовать режиму физической активности и распорядку дня.

- основные приёмы пищи – завтрак, обед и ужин – до 4–5 хлебных единиц;

- дополнительные – второй завтрак, полдник – по 1–2 хлебных единиц.

Если с диабетом наблюдается дефицит массы тела (индекс массы тела менее 18,49), общий объем потребления хлебных единиц в продуктах рекомендуется увеличить до 30.

Таблица количества хлебных единиц в сутки, в зависимости от физических параметров человека, представлена ниже (Таблица 1). Норма хлебных единиц в сутки рассчитывается в приложении по данной таблице индивидуально для каждого пользователя прошедшего регистрацию, если пользователь не был зарегистрирован, используется среднее значение (20 хлебных единиц).

Таблица 1

Таблица количества хлебных единиц за сутки

| Возраст, лет | Количество ХЕ в сутки |
|--------------|-----------------------|
| 4 – 6        | 12 – 13 ХЕ            |
| 7 – 10       | 15 – 16 ХЕ            |
| 11 – 14      | 18 – 20 ХЕ (мальчики) |
| 11 – 14      | 16 – 17 ХЕ (девочки)  |
| 15 – 18      | 19 – 21 ХЕ (мальчики) |
| 15 – 18      | 17 – 18 ХЕ (девочки)  |
| Взрослые     | 20 – 22 ХЕ            |

## 2. Водный баланс:

Чаще всего в профилактике сахарного диабета любого типа первое место отдают правильной системе питания, хотя это не совсем верно. Прежде всего, необходимо поддерживать в организме здоровый водный баланс.

Существует простое правило: пить два стакана родниковой негазированной воды утром и перед каждым приемом пищи за 15 минут обязательно. Это необходимый минимум.

## 3. Физическая активность:

Регулярные физические нагрузки являются гарантированным методом профилактики любых заболеваний. При этом жировые клетки теряют объем естественным путем и в нужных количествах, а клетки мышц поддерживаются в здоровом и активном состоянии. Глюкоза не застаивается в крови, даже если есть некоторый ее избыток. Необходимо хотя бы 10–20 минут в день заниматься любым видом спорта, но это не обязательно должна быть активная и изнуряющая тренировка.

## 4. Избегание стресса:

Такая мера будет отличной профилактикой абсолютно всех заболеваний, а не только сахарного диабета. Следует избегать контактов с отрицательно настроенными людьми. Если же это неизбежно, следует контролировать себя и сохранять спокойствие. В этом могут помочь аутотренинги или же тренинги и консультации со специалистами. Стрессы напрямую связаны с давлением.

## 5. Контроль давления:

Научно установленный факт, что повышенное давление может привести к нарушению углеводного обмена в организме. Сердечно-сосудистые заболевания и диабет очень тесно связаны друг с другом, поэтому чем лучше взрослый человек будет следить за своим давлением, тем надёжнее он сбережёт свои сосуды. При этом необходимо отметить, что практически любая болезнь может привести к нарушению обмена веществ в организме, в том числе и углеводного обмена. Любое сердечно-сосудистое заболевание повышает риск заболевания сахарным диабетом [1–3].

В качестве терапии второй линии могут быть назначены пероральные противодиабетические средства. Существует несколько классов таких препаратов: средства, повышающие чувствительность к инсулину, стимуляторы секреции инсулина и ингибиторы альфа-глюкозидазы. Они различаются по механизму действия и могут применяться по отдельности или в комбинациях. Соблюдение принципов здорового образа жизни повышает их эффективность.



Люди с сахарным диабетом знают, как важно отслеживать состояние своего здоровья – следить за приёмом пищи и лекарств. Уследить за всем этим очень тяжело, а вести бумажные дневники неудобно и непрактично. Однако контроль и компенсация болезни является самой главной задачей для пациентов при сахарном диабете. Дневник самоконтроля – это важнейший источник информации о том, что происходит с вашим диабетом. Он может указать на ошибки в лечении, подсказать, как тот или иной продукт или физическая активность влияют на глюкозу крови, предостеречь в будущем от того, что может резко снизить уровень глюкозы крови. Самостоятельный контроль диабета в виде ведения бумажного дневника проводится пациентами редко из-за неудобства и сложности самого процесса. Но ценность результатов, полученных при самоконтроле в домашних условиях, гораздо выше, поскольку они отражают ваше состояние в условиях реальной жизни. Результаты измерений уровня глюкозы в крови, проведенных в поликлинике или стационаре, также как измерение в этих условиях артериального давления, могут оказаться не соответствующим действительности.

С использованием языка программирования Python [4] и среды разработки PyCharm разработано приложение для мобильных устройств с операционной системой Android. Приложение разработано с целью облегчения контроля над сахарным диабетом 2 типа. Приложение позволяет пользователю создавать собственную базу продуктов, отслеживать свое состояние с помощью еженедельных и месячных отчетов, ежедневно добавлять данные, отслеживать зависимость уровня глюкозы от питания и физической активности.

Принцип работы приложения заключается в выборе пользователем начальных параметров для расчета индекса массы тела (возраст, рост, вес, пол). После чего для пользователя рассчитывается норма хлебных единиц на сутки (Таблица 1). Далее при добавлении пользователем продуктов питания, употребленных за сутки, отслеживается количество хлебных единиц и при превышении нормы пользователю отправляется уведомление. Данные, вводимые пользователем, хранятся в базе данных СУБД MySQL.

Дополнительным плюсом данного приложения можно считать то, что оно является индивидуальным. Пользователь имеет возможность настраивать, изменять свои параметры. Тем самым мобильное приложение увеличивает вероятность получения более достоверных результатов и более точного отслеживания состояния здоровья.

При первом запуске приложения пользователь видит ряд окон для ознакомления с возможностями приложения, после чего открывается окно регистрации с введением необходимых данных для работы приложения. Указав свои данные, пользователь получает доступ к 4 виджетам – основным функциям приложения: **питание, физическая активность, кровяное давление, медикаменты** (рисунки 1–4).

Все внесенные данные помещаются в базу данных и используются в дальнейшем для построения временных графиков и выдачи сообщений.

При работе с приложением пользователь имеет возможность отследить временные зависимости важных при сахарном диабете параметров (рисунок 6). Таким образом, в ходе выполнения данной работы разработано мобильное приложение индивидуального контроля здоровья, пользователей, страдающих сахарным диабетом 2-го типа.



Рисунок 1 – Окно продуктов в базе данных (может дополняться и изменяться)



Рисунок 2 – Дневная физическая активность





Рисунок 3 – Кровяное давление



Рисунок 4 – Используемые медикаменты

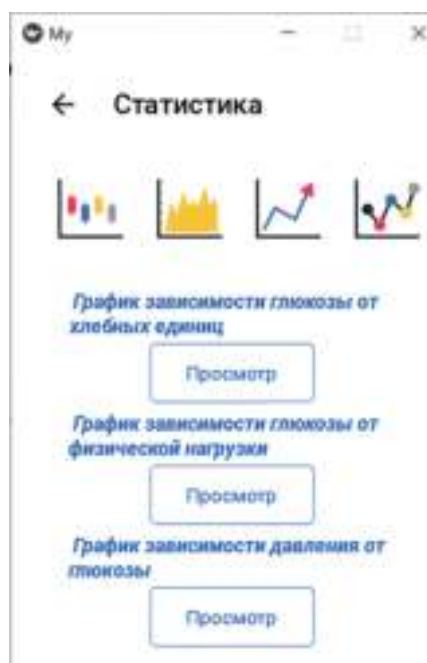


Рисунок 6 – Окно статистики

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сахарный диабет и его осложнения: тактика ведения пациентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://makaenka17med.by/respublikanskij-tsentr-endokrinologii/informatsiya-dlya-spetsialistov-endokrinologicheskoy-sluzhby/1675-konferentsiya-2022-sakharnyj-diabet-i-ego-oslozhneniya-taktika-vedeniya-patsientov> – Дата доступа: 06.02.2023.
2. Самоконтроль при сахарном диабете 2 типа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shkoladiabeta.ru/school/sd2/> – Дата доступа: 01.12.2022.
3. Лечение сахарного диабета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vesu-net.com/lechenie-saxarnogo-diabeta/#lechenie-diabeta> – Дата доступа: 10.12.2022.
4. Пол Бэрри. Изучаем программирование на Python / Пол Бэрри – Москва: Изд-во Эксмо., 2017. – 624 с

# ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ

## DATA PROCESSING IN RECOGNITION OF OBJECTS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

**С. В. Ткаченко<sup>1,2</sup>, Т. В. Смирнова<sup>1,2</sup>, И. В. Лефанова<sup>1,2</sup>**  
**S. Tkachenko, T. Smirnova, I. Lefanova**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, the Republic of Belarus  
smirnova@iseu.by

Представлены этапы обработки данных от различных источников для задачи распознавания изображений нейронной сетью. Алгоритмы реализованы на языке Python с помощью библиотек TensorFlow и API Keras.

The stages of data processing from different sources for the task of image recognition by a neural network are presented. The algorithms are implemented in Python using the TensorFlow libraries and the Keras API.

*Ключевые слова:* TensorFlow, Keras, python, нейронные сети, CV, распознавание рукописных знаков.

*Keywords:* TensorFlow, Keras, python, neural network, CV, handwriting recognition.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-269-272>

**Введение.** Метод математического моделирования, основанный на данных (Data-Driven Modelling), широко используется в областях, где недостаточно знаний, чтобы сформулировать закономерности в виде математических форм, но накоплено много информации по изучаемым процессам и явлениям.

Растущий спрос на прогнозирование в экологии, в частности, в таких областях, как сокращение биоразнообразия, глобальные изменения климата, опасные явления природы, способствуют разработке количественных подходов в области экологии. Но для их применения необходимы другие технологии данных.

Эффективными инструментами моделирования стали методы машинного обучения. Машинное обучение (Machine Learning, ML) – это семейство вычислительных алгоритмов, предназначенных для определения закономерностей в сложных структурах данных, и создания на их основе точных прогностических моделей. ML основывается на описании сложных отношений и предсказывает параметры и доверительные интервалы. Машинное обучение, находящееся на пересечении компьютерных наук и статистики, и составляющее основу искусственного интеллекта и науки о данных, является бурно развивающейся областью знаний.

Глубокое обучение (Deep Learning, DL) – относительно новая сфера ML. Главный инструмент DL – глубокая нейронная сеть (DNN), основанная на искусственных нейронных сетях (Artificial Neural Networks, ANNs). DL представляет из себя набор методов, которые позволяют обучать большие и глубокие (много слоев) нейронные сети. Такие сети стали возможными благодаря разработке улучшенных алгоритмов для обработки данных; увеличению вычислительной мощности и доступу к наборам данных для обучения проектируемой сети. Обученные нейросети применяются в задачах анализа данных, например, в задачах распознавания и классификации изображений, а также в задачах прогнозирования.

Цель работы – разработать инновационные учебно-методические материалы по созданию и глубокому обучению нейронных сетей, способных обрабатывать большие объемы данных, включая данные от систем компьютерного зрения, для распознавания и классификации объектов.

**1 Программные средства для распознавания изображений.** Наиболее популярными и эффективными фреймворками и библиотеками программ, используемыми для распознавания изображений с помощью нейросетей, являются TensorFlow и Keras.

**TensorFlow** – это библиотека с открытым исходным кодом на Python, содержит множество различных алгоритмов и моделей, позволяющих реализовать глубокие нейронные сети для использования в таких задачах, как распознавание и классификация изображений по статичным и динамическим данным, обработка естественного языка, распознавание текста. **Keras** – это высокоуровневый API (интерфейс прикладного программирования), который может использовать более эффективно использовать функции TensorFlow.

Распознавание изображения – это передача оцифрованного изображения в нейронную сеть и присвоения ему метки. Метка, выбранная нейросетью, будет соответствовать заранее определенному классу. Изображению может быть присвоена одна или несколько меток. Если изначально была определена одна метка (и класс), это будет задача «распознавания»; если процесс предполагает поиск нескольких типов меток (и классов), то это задача «классификации».

Обнаружение объектов – это подмножество классификаций изображений, когда определенные экземпляры объектов идентифицируются как принадлежащие к определенному классу (животные, люди).

Как нейронные сети учатся распознавать изображения

Работа нейросети состоит из процессов:

- 1) Извлечение признаков, т.е. элементов данных из одной группы изображений, которые будут обрабатываться нейронной сетью. На практике признаками являются группы пикселей (линии и точки)
- 2) Функции активации, которая получает карту признаков (массив чисел), и увеличивает их нелинейность.
- 3) Объединение слоёв. Оно «упрощает» изображение, сокращая информацию о нем.
- 4) Связка слоёв: определяется вероятность принадлежности изображения каждому из классов.

**Рабочий процесс машинного обучения.** Процесс обучения модели нейронной сети может быть поделен на четыре этапа.

Подготовка данных. Подготовка данных для обучения сети включает сбор изображений и их маркировку. Нужно проверить, есть ли среди данных поврежденные значения, или данные в неправильном формате, или с неправильными метками и т. д.

Создание модели. На этом этапе принимается решение о количестве слоев в модели, о размерах входного и выходного слоев, о применяемой функции активации. Создается экземпляр модели.

Обучение модели. Создается обучающая выборка, задается количество эпох обучения.

Оценка модели. Точность модели оценивается на 1) проверочном наборе данных, после чего обычно возвращаются к этапу дообучения сети; 2) на тестовом наборе данных.

**3. Подготовка данных для работы с последовательной моделью Keras.** В качестве набора данных для машинного обучения сети использовался набор данных MNIST, содержащий более 60000 изображений рукописных цифр от 0 до 9 в градациях серого, а также 10 000 картинок для тестирования. Изображения с цифрами представлены в виде матриц 28 x 28, где каждая ячейка содержит определенный оттенок серого.

```
import tensorflow as tf
(x_train, y_train), (x_test, y_test)=tf.keras.datasets.mnist.load_data()
```

Для обработки данных надо подключить библиотеку NumPy для математических расчетов; класс Sequential для создания слоев:

```
import numpy as np
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Dropout, Flatten, BatchNormalization, Activation
```

**Создание собственного набора данных.** Для создания собственного набора данных потребуется выполнить поиск, загрузку и преобразование файлов с информацией об изображениях. Загрузим малый набор данных MNIST для тренировки сети и преобразования данных в изображения. Необработанный набор данных mnist\_train\_small.csv - это CSV-файл из 20 000 строк и 785 столбцов. Первый столбец каждой строки – метка класса; следующие 784 столбца представляют значение пикселей изображения цифры размером 28x28 в градациях серого.

Преобразуем набор данных csv в формат с одной размерностью: загрузим набор в кадр данных pandas, затем преобразуем кадр данных в ndarray NumPy, используя функцию to\_numpy(). В результате получим сжатый массив numpy.ndarray размером 20000x785:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import tensorflow as tf
import os
from PIL import Image
import random
import shutil
df=pd.read_csv('./sample_data/mnist_train_small.csv', header=None)
image_arrays=df.to_numpy()
len(image_arrays)
```

Для автоматизации работы создаем папку images и сохраняем каждый массив изображений в формате JPEG. Имя файла представляет собой случайное 12-значное число, за которым следует метка изображения:

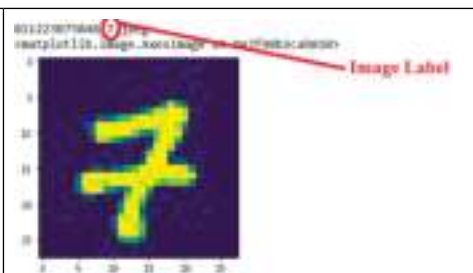
```
if os.path.exists('images'):
    shutil.rmtree('images')
os.makedirs('images')
```

```
for img in image_arrays:
filename = os.path.join('images', str(random.randint(1000000000000, 999999999999))
+f'_{img[0]}.jpeg')
Image.fromarray(np.uint8(np.reshape(img[1:], (28,28)))) .save(filename)
```

Загрузим и визуализируем одно из изображений из каталога:

```
images=os.listdir('images')
n=62
print(images[n])
im=plt.imread(os.path.join('images', images[n]))
plt.imshow(im)
```

Результат показан справа



Создадим функцию для получения метки каждого изображения из имени его файла.

```
def get_label(filename):
return filename.split('.')[0].split('_')[1]
```

Все изображения из созданного каталога images переместим в подкаталог, соответствующий классу, к которому оно принадлежит. Нужно создать 10 подкаталогов для каждой цифры от 0 до 9:

```
path = 'images'
for image in images:
if not os.path.exists(os.path.join(path, get_label(image))):
os.makedirs(os.path.join(path, get_label(image)))
shutil.move(os.path.join(path, image), os.path.join(path, get_label(image), image))
```

В результате перемещения всех изображений в соответствующий подкаталог класса, сам каталог изображений будет иметь линейную структуру вида:



Фрагмент кода на python для выборки набора данных для любого изображения представлен ниже:

```
tf.keras.preprocessing.image_dataset_from_directory(directory,
labels='inferred', label_mode='int', class_names=None,
color_mode='rgb', batch_size=32, image_size=(256, 256),
shuffle=True, seed=None,
validation_split=None, subset=None,
interpolation='bilinear',
follow_links=False,
crop_to_aspect_ratio=False,
**kwargs )
```

Зададим размер пакета при обновлении весов и требуемую высоту и ширину изображения

```
batch_size = 32
img_height = 180
img_width = 180
```

Используем 80 % изображений для обучения и 20 % для проверки

```
train_ds = tf.keras.utils.image_dataset_from_directory( path,
validation_split=0.2, subset='training',
seed=123,
image_size=(img_height, img_width),
batch_size=batch_size)
```

Имена классов в наборах данных можно найти в атрибуте class\_names.

```
class_names = train_ds.class_names
print(class_names)
```

Визуализируем данные из обучающего набора. Результат для первых шести изображений от train\_ds

```
import matplotlib.pyplot as plt
plt.figure(figsize=(8, 10))
```

```
for images, labels in train_ds.take(1):
for i in range(6):
    ax = plt.subplot(2, 3, i + 1)
    plt.imshow(images[i].numpy().astype('uint8'))
    plt.title(class_names[labels[i]])
    plt.axis('off')
```



Далее на этих наборах данных модель обучается, используя метод `Model.fit()`. С помощью метода `evaluate()` оцениваем качество обученной модели. На тестовом наборе показатель достигал 72%

**Закключение.** Реализация алгоритмов распознавания изображений с помощью нейросетей требует большого объема расчетов. Основная трудность заключается в обработке исходной неструктурированной информации с изображениями различных объектов и подготовке наборов данных. В работе рассмотрен и реализован алгоритм по преобразованию входной информации к виду, пригодному для визуализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Раиша, С.* Python и машинное обучение: [Электронный ресурс] – Москва: ДМК Пресс, 2017. – 418 с. Режим доступа: <http://znanium.com/catalog> – Дата доступа: 28.01.2023.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES TO DEVELOP THE ONLINE MONITORING SYSTEM OF THE STATE OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**В. В. Журавков<sup>1,2</sup>, Н. Д. Урбанович<sup>1,2</sup>**  
**Zhuravkov V.V.<sup>1,2</sup>, Urbanovich N.D.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
[nick.urbanovich@mail.ru](mailto:nick.urbanovich@mail.ru)

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus

В статье представлены инновационные технологии для разработки системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды Республики Беларусь. Прототипом для разработки является система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района.

The article presents the innovative technologies used to develop the system of online monitoring of the state of environmental components of the Republic of Belarus. The prototype for the development of the above system is the system for online monitoring of the state of environmental components of the city of Orsha and Orsha district.

**Ключевые слова:** информационно-аналитическая система, php, javascript, leaflet, openstreetmap, карты google, drupal.

**Keywords:** information analytical system, php, javascript, leaflet, openstreetmap, google maps, drupal.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-272-275>

Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на г. Орши и Оршанского района содержит такие данные, как: мониторинг атмосферного воздуха, мониторинг сточных и поверхностных вод, мониторинг подземных вод, мониторинг почв, радиационный мониторинг.



Для разработки данной системы были использованы следующие инновационные технологии:

1) PHP – С-подобный скриптовый язык общего назначения, интенсивно применяемый для разработки веб-приложений. В настоящее время поддерживается подавляющим большинством хостинг-провайдеров и является одним из лидеров среди языков, применяющихся для создания динамических веб-сайтов[1]. Язык PHP является одним из самых популярных и простых решений для работы с серверной частью веб-приложения. Происходит обработка клиентского запроса и выдача ответа, например, из базы данных (рис. 1).

#### Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

| №2 (ул. Владимира Ленина, У-43/1)                               |                   |                                  |      |                   |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|------|-------------------|
| Загрязняющее вещество                                           | Единицы измерения | Максимально-разовая концентрация | ГДК  | Период            |
| Твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) | мг/м <sup>3</sup> | 100                              | 300  | 31 января 2023 г. |
| Углерод оксид                                                   | мг/м <sup>3</sup> | 1000                             | 5000 | 31 января 2023 г. |
| Азота диоксид                                                   | мг/м <sup>3</sup> | 67                               | 250  | 31 января 2023 г. |

Рисунок 1 – Данные, получаемые от сервера

2) JavaScript – это интерпретируемый язык программирования с объектно-ориентированными возможностями [2]. С точки зрения синтаксиса базовый язык JavaScript напоминает C, C++ и Java такими программными конструкциями, как инструкция if, цикл while и оператор &&. Однако это подобие ограничивается синтаксической схожестью. JavaScript используется для работы с клиентской частью веб-приложения (то, что видит пользователь), например, обработки нажатия пользователем клавишей мыши на картографический объект (рис. 2).

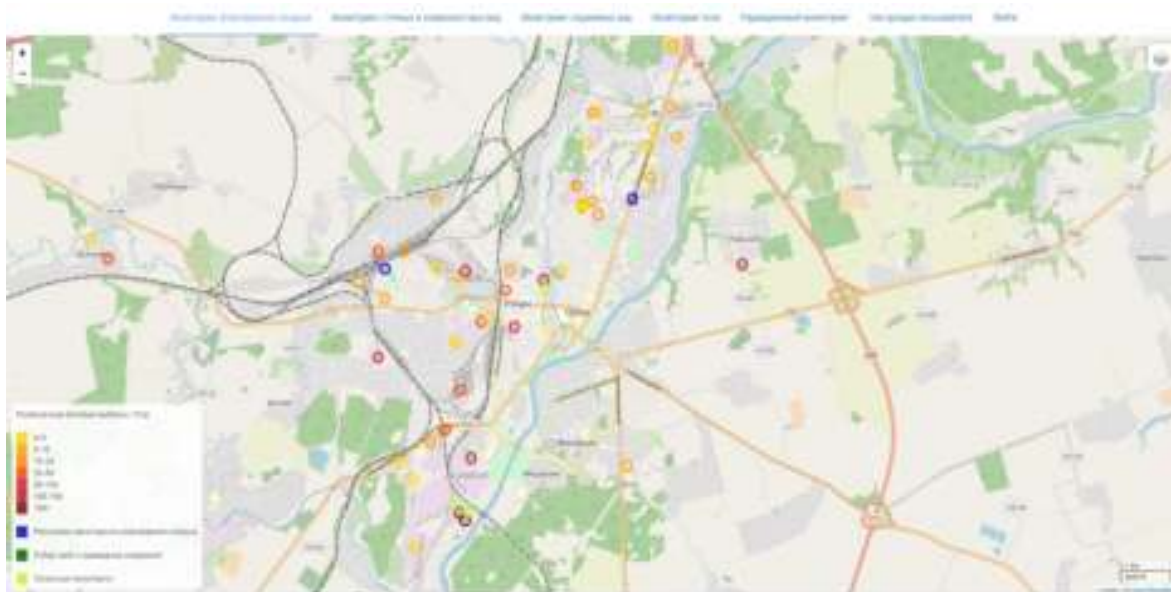


Рисунок 2 – Клиентская часть приложения

3) Leaflet – библиотека с открытым исходным кодом, написанная на JavaScript, предназначенная для отображения карт на web-сайтах. Поддерживает большинство мобильных и стационарных платформ из числа тех, что поддерживают HTML5 и CSS3. Leaflet позволяет разработчику, не знакомому с ГИС, легко отображать растровые карты, состоящие из маленьких фрагментов – тайлов, с, возможно, дополнительными слоями, накладываемыми поверх основного. Слои могут быть интерактивными, например, отображать подсказку при клике по маркеру [3].

Библиотека Leaflet удобна для работы с картографическими объектами, например, для построения ретроспективного анализа (рис. 3).

4) OpenStreetMap – некоммерческий веб-картографический проект по созданию силами сообщества участников – пользователей Интернета подробной свободной и бесплатной географической карты мира [4].

Для создания карт используются данные с персональных GPS-трекеров, аэрофотографии, видеозаписи, спутниковые снимки и панорамы улиц, предоставленные некоторыми компаниями, а также знания человека,

рисующего карту. Использование для создания карт информации из несвободных сервисов, подобных Google Maps, без разрешения правообладателя запрещено.

В OpenStreetMap при создании карты используется принцип вики. Каждый зарегистрированный пользователь может вносить изменения в карту.

В разработанной системе OpenStreetMap является основной картографической подложкой (рис. 4).

5) Google Карты – набор приложений, построенных на основе бесплатного картографического сервиса и технологии, предоставляемых компанией Google. Созданы в 2005 году [5].

В разработанной системе добавлена возможность выбора картографической подложки Google Maps вместо OpenStreetMap (рис. 5).

6) Drupal – система управления содержимым (CMS), используемая также как каркас для веб-приложений (CMF), написанная на языке PHP и использующая в качестве хранилища данных реляционную базу данных (поддерживаются MySQL, PostgreSQL и другие) [6]. Drupal является свободным программным обеспечением, защищённым лицензией GPL, и развивается усилиями энтузиастов со всего мира.

В CMS Drupal встроенная административная панель, благодаря которой можно легко взаимодействовать с базой данных, редактировать данные, получать их (рис. 6). Также для работы с CMS Drupal используется язык программирования PHP.



Рисунок 3 – Ретроспективный анализ частиц оксида углерода в атмосферном воздухе



Рисунок 4 – Картографическая подложка системы OpenStreetMap



Рисунок 5 – Картографическая подложка системы Google Maps

| Данные локального мониторинга               |                   |              |                              |
|---------------------------------------------|-------------------|--------------|------------------------------|
| Период: Январь 2023                         |                   |              |                              |
| Номер источника: источник №4                |                   |              |                              |
| Наименование параметра наблюдений           | Единицы измерения | Концентрация | Норматив допустимого выброса |
| Азот (IV) оксид (азота диоксид)             | мг/м <sup>3</sup> | 16.94        | 150                          |
| Углерод оксид (окись углерода, угарный газ) | мг/м <sup>3</sup> | 0.87         | 300                          |
| Номер источника: источник №3                |                   |              |                              |
| Наименование параметра наблюдений           | Единицы измерения | Концентрация | Норматив допустимого выброса |
| Азот (IV) оксид (азота диоксид)             | мг/м <sup>3</sup> | 112.11       | 150                          |
| Углерод оксид (окись углерода, угарный газ) | мг/м <sup>3</sup> | 0.85         | 300                          |

Рисунок 6 – Данные, получаемые из административной панели CMS Drupal

Актуальность разработки данной системы заключается в том, что состояние компонентов окружающей среды Республики Беларусь требует надлежащего контроля. Прототипом для разработки вышеописанной системы является системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района. Прототип является полноценным web-приложением, включающим в себя клиентскую и серверную часть. Данная система используется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. PHP, <https://ru.wikipedia.org/wiki/PHP>, [Электронный ресурс].
2. Флэнаган Д., Javascript. Подробное руководство – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2008. – 992 с.: ил.
3. Leaflet, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Leaflet>, [Электронный ресурс].
4. OpenStreetMap <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>, [Электронный ресурс].
5. Карты Google, [https://ru.wikipedia.org/wiki/Карты\\_Google](https://ru.wikipedia.org/wiki/Карты_Google), [Электронный ресурс].
6. Drupal, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Drupal>, [Электронный ресурс].



# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ДОСТУПА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ УРОВНЯХ

## DEVELOPMENT OF INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF GENERAL ACCESS FOR COMPREHENSIVE STUDY OF THE IMPACTS OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL FACTORS AT VARIOUS REGIONAL LEVELS

**В. В. Журавков<sup>1,2</sup>, Б. А. Тонконогов<sup>1,2</sup>, П. К. Шалькевич<sup>1,2</sup>, О. А. Антонович<sup>1,2</sup>**  
**V. V. Zhuravkov, B. A. Tonkonogov, P. K. Shalkevich, O. A. Antonovich**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, the Republic of Belarus  
zhvl@mail.ru

В статье предоставлены результаты полученные в рамках выполнения НИР «Разработка Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях» в рамках задания «Развитие информационного и методического обеспечения мониторинга, аудита, сертификации и реабилитации природно-территориальных комплексов» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограмма 3 «Радиация и биологические системы» на 2021–2025 гг.

The article presents the results obtained as part of the research work «Development of a Web-based information and analytical system of general access for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors at various regional levels» within the framework of the task «Development of information and methodological support for monitoring, audit, certification and rehabilitation of natural -territorial complexes» SPNI «Natural Resources and Environment» subprogram 3 «Radiation and Biological Systems» for 2021-2025.

**Ключевые слова:** геоинформационной системы, информационно-аналитический ресурс, многоуровневая региональная Web-ориентированная система.

**Keywords:** geographic information system, information and analytical resource, multi-level regional Web-oriented system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-276-279>

**Введение.** Информационно-аналитический ресурс системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях разработан на основе информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» и является автоматизированной информационной системой общего доступа разработанной на основе современных ГИС и веб-технологий.

Одной из ключевых задач информационно-аналитического ресурса является создание единой многоуровневой региональной веб-ориентированной геоинформационной системы на основе принципов пространственного краудсорсинга и концепции общественной ГИС, развитие 3D-ГИС и электронных услуг на их основе, а также реализация концепции открытых данных, в том числе посредством создания национального портала открытых данных как основного инструмента их распространения и стимулирования создания на их основе электронных услуг [1].

**Материалы и методы исследования.** В результате выполнения НИР «Разработка Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях» в рамках задания «Развитие информационного и методического обеспечения мониторинга, сертификации и реабилитации природно-территориальных комплексов» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограмма «Радиация и биологические системы» на 2021–2025 гг, были выполнены следующие задачи [2] :

Разработан веб-ориентированный ресурс включающий создание:

- новой платформы <https://orsha-ecokarta.gov.by> для тестирования программных модулей и компонентов, позволяющих манипулировать данными и обрабатывать их с целью проведения ретроспективного анализа

в среде информационного ресурса, а также апробации элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для интерпретации и визуализации данных (создания графических зависимостей и гистограмм) при их ретроспективном анализе в среде информационного ресурса;

- программных модулей и компонентов, позволяющих создавать, редактировать и удалять картографические объекты и их атрибуты в базе данных и посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;

- программных модулей и компонентов, позволяющих обрабатывать, сортировать, передавать и отображать данные посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;

- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для создания, редактирования и удаления картографических объектов и их атрибутов в базе данных информационного ресурса;

- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для обработки, сортировки, передачи и отображения данных посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса.

Веб-ориентированный интерфейс для проведения ретроспективного анализа и редактирования данных информационного ресурса системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района предназначен для обеспечения возможности редактирования данных о состоянии окружающей среды через административную панель управления и возможности обработки этих данных посредством специальных программных компонентов для построения временных диаграмм [3].

Разрабатываемый веб-ориентированный интерфейс должен позволять пользователям манипулировать данными и обрабатывать их с целью проведения ретроспективного анализа в среде информационного ресурса, а также отображать данные в виде графических зависимостей при их ретроспективном анализе в среде информационного ресурса. Основные цели создания веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа и редактирования данных информационного ресурса системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района заключаются в предоставлении специальных средств для [3, 4]:

- ввода, редактирования и удаления данных о состоянии компонентов окружающей среды;

- выполнения ретроспективного анализа на основе данных о состоянии компонентов окружающей среды, внесенных в базу данных (БД) информационного ресурса.

При создании веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа и редактирования данных информационного ресурса системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района должны быть достигнуты следующие цели в части разработки:

- программных модулей и программных компонентов, позволяющих создавать, редактировать и удалять картографические объекты и их атрибуты в базе данных и посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;

- программных модулей и программных компонентов, позволяющих обрабатывать, сортировать, передавать и отображать данные посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;

- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для создания, редактирования и удаления картографических объектов и их атрибутов в базе данных информационного ресурса;

- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для обработки, сортировки, передачи и отображения данных посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса.

Исходными данными для достижения обозначенных целей являются:

- данные мониторинговых наблюдений в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС) за природными и антропогенными объектами, расположенными на территории г. Орши и Оршанского района, описание внутренних форматов и кодов электронной карты г. Орши и Оршанского района для картографического представления результатов;

- иные данные, полученные от Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, его подчиненных организаций, научных организаций и учреждений, главного информационно-аналитического центра НСМОС, информационно-аналитического центра мониторинга (ИАЦ) атмосферного воздуха, ИАЦ мониторинга поверхностных вод, ИАЦ локального мониторинга, ИАЦ мониторинга подземных вод.

Данный информационно-аналитический ресурс представляет собой инструмент для создания, накопления и систематизации учетных данных, удаленного обмена информацией, получения и предоставления статистических, картографических и других отчетных сведений об объектах и процессах и является инструментом поддержки принятия управленческих решений на основе использования государственных информационных ресурсов.

Скриншоты информационного ресурса представлены на рисунках 1–5.



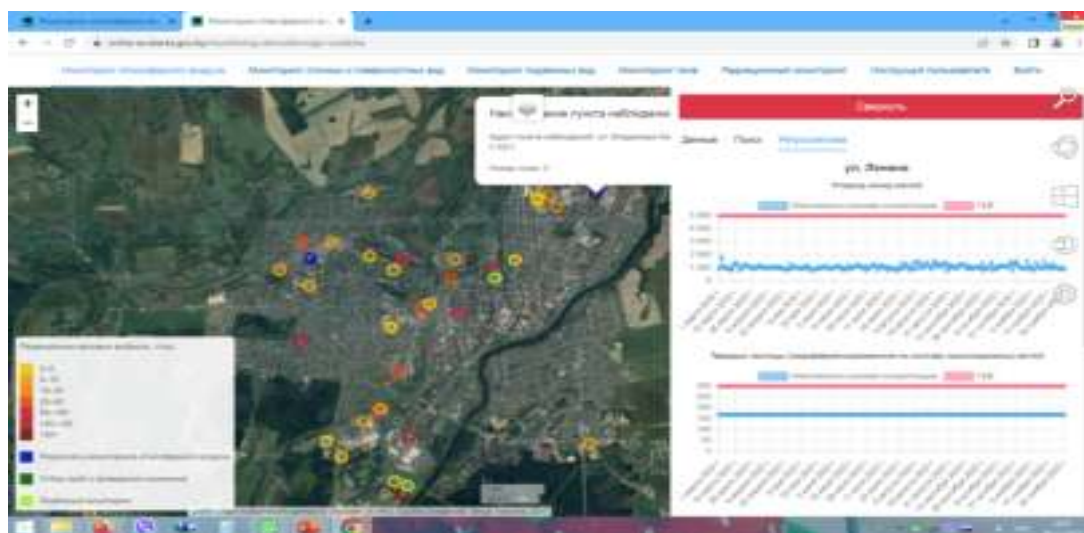


Рисунок 1 – Результаты ретроспективного анализа мониторинга атмосферного воздуха

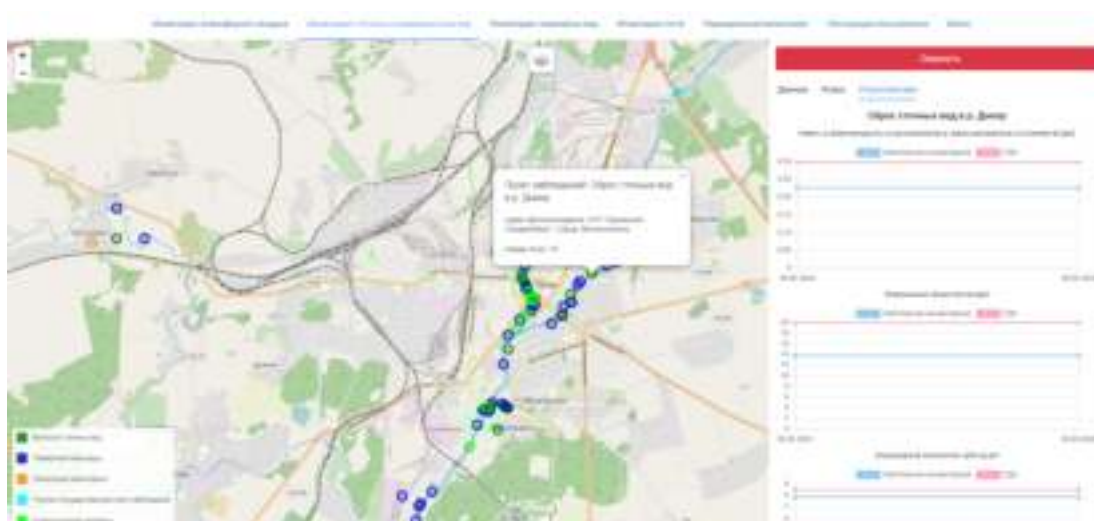


Рисунок 2 – Результаты ретроспективного анализа мониторинга сточных и поверхностных вод

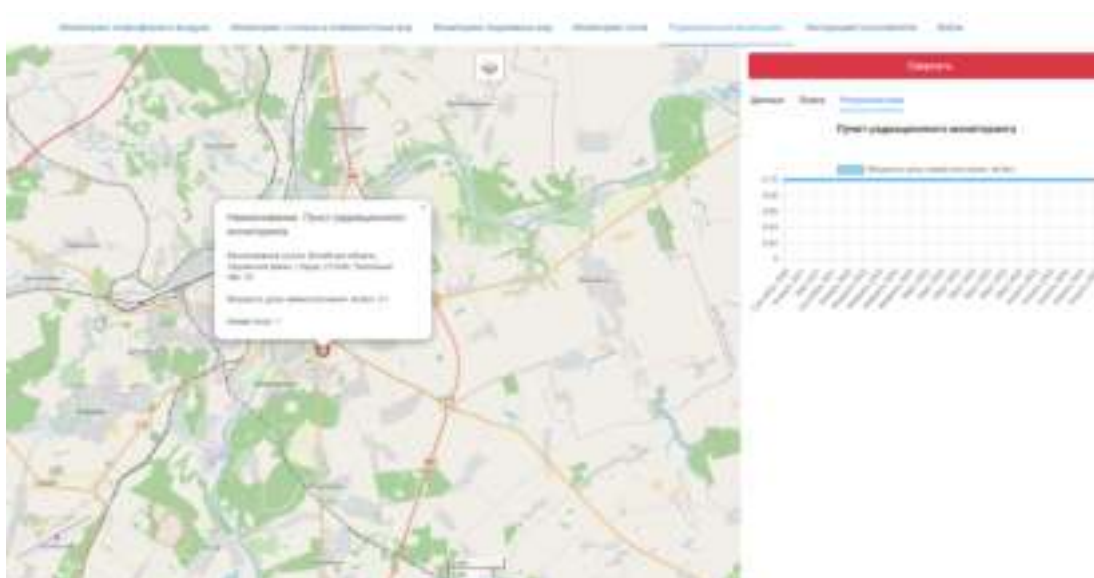


Рисунок 3 – Результаты ретроспективного анализа мониторинга почв

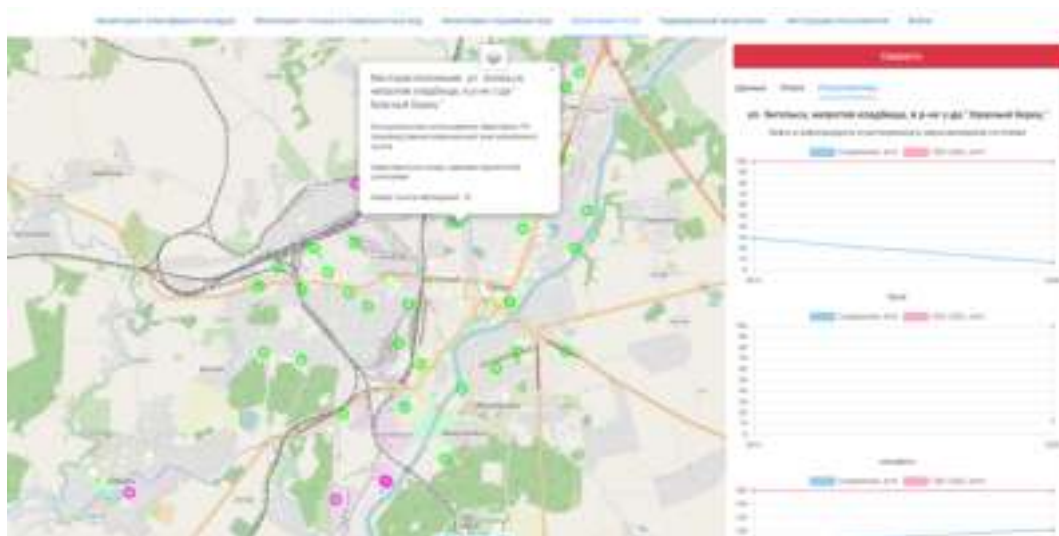


Рисунок 4 – Результаты радиационного мониторинга

Рисунок 5 – Интерфейс для ввода данных

**Заключение.** Таким образом, использование информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» в управлении хозяйством Оршанского района позволяет создать универсальную модель, предназначенную для комплексного представления объектов планирования и управления территорией района, ее аналитического изучения и мониторинга на основе современных ГИС и веб-технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол заседания Президиума Совета Министров от 03.11.2015 № 26 «Об утверждении Стратегии развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы.
2. Журавков, В.В. Современные ГИС технологии при разработке информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» / В.В. Журавков., Б. А. Тонконогов // Материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 марта 2021 г.; Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2021. 332 – 334 с. ISBN 978-985-5275880.
3. Zhuravkov, V.V. Development of information-analytical resource «Online monitoring system of environmental components' state of Orsha town and Orsha district» / Zhuravkov V.V., Tonkonogov B.A. // XXII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования» 22-24 апреля 2021 г. РУДН Москва. – Москва, 2021. С. 276–280.
4. Zhuravkov, V.V. GIS technologies as an element of a decision-making system for online monitoring of the state of environmental components in Orsha city and Orsha district / Zhuravkov V.V., Tonkonogov B.A. // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии – 2021», 22–24 сентября 2021 г. – Гродно, 2021, с. 115–116.

# ДОПУСТИМОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ДЛЯ БЕЛОК-БЕЛКОВОГО ДОКИНГА ИЗ СТАРЫХ ANDROID-УСТРОЙСТВ

## FEASIBILITY OF A COMPUTING CLUSTER BASED ON OLD ANDROID DEVICES FOR PROTEIN-PROTEIN DOCKING

**А. Д. Казмерчук<sup>1, 2</sup>, С. Шахаб<sup>1, 2</sup>**

**A. D. Kazmerchuk<sup>1, 2</sup>, S. Shahab<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
[bantkaz566@gmail.com](mailto:bantkaz566@gmail.com), [siyamakshahab@mail.ru](mailto:siyamakshahab@mail.ru)

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEU BSU, Minsk, the Republic of Belarus

Кратко рассмотрены экономические, экологические аспекты, аспекты масштабирования и быстродействия кластерной системы, построенной на старых устройствах под управлением ОС Android, для массивно параллельной задачи белок-белкового докинга.

In this report we briefly evaluate economic, ecological, scaling and computing issues for a hypothetical computing cluster built from old Android devices, that we propose for protein-protein docking test running cluster.

**Ключевые слова:** вычислительная система, кластер, электронные отходы, андроид, протеин-протеиновый докинг.

**Keywords:** computing system, cluster, e-waste, Android, protein-protein docking.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-280-283>

**Введение.** Принимая во внимание то, что даже опыты 18-летней давности по массивному скринингу белок-белковых комплексов в вычислительных экспериментах по протеин-протеиновому докингу (ППД) проводились на суперкомпьютерах или кластерах с количеством рабочих арифметических логических вычислительных устройств (АЛВУ), исчисляемых сотнями [1], становится ясно, что в современных реалиях, если целью стоит построение действительно быстро функционирующей докинг-системы, количество АЛВУ в них должно быть не меньшим.

Доступ в Беларуси к суперкомпьютерным системам ограничен. Для проведения лишь одного опыта в рамках суперкомпьютера БГУ, требуется предварительная регистрация, работа только через интерфейс *PuTTY*, что вызывает неудобства, так как работа через удалённый терминал не даёт полного контроля над вычислительной системой. Такие опыты одинарны, что полностью побеждает само научное представление эксперимента (научный эксперимент в идеале должен с легкостью повторяться в одинаковых условиях многократно), еще также и потому, что программному обеспечению обычно требуется множество багфиксов. Исправлять ошибки ПО, используя описанный подход, превращается в неоправданно трудоёмкую процедуру.

Построить новый суперкомпьютер для исследователя не представляется возможным. Суперкомпьютеры и их построение требуют огромных финансовых затрат [2]. Само построение суперкомпьютера – это отдельная нетривиальная область информатики и инженерии с ненулевым порогом входа. Таким образом, путь построения собственного суперкомпьютера для исследователя не доступен.

Вторым решением может быть использование облачных вычислений. Однако данный путь также сопряжён с крупными финансовыми затратами на аренду облачной инфраструктуры, и эти затраты могут меняться по желанию поставщика облачной инфраструктуры. А для проведения действительно массивных экспериментов по докингу, затраты на масштабирование существенно возрастают.

Именно поэтому в среде энтузиастов, увлечённых различными видами массивно параллельных вычислений (майнинг, промптинг и обучение нейросетей) стандартным решением является вычислительная автономия на собственной видеокарте (ГП), высокопроизводительных ЦП или на специализированных вычислительных процессорах. Стоимость таких ЦП и ГП также исчисляется обычно сотнями белорусских рублей, или, если удобнее, сотнями и тысячами условных единиц. Например, стоимость 1 многоядерного (от 16 до 64 ядер) процессора *AMD EPYC*, часто используемых в суперкомпьютерах, начинается приблизительно с 1000 условных единиц.



Авторы предлагают иной подход, исходя, прежде всего, из экономической и экологической стороны вопроса, суть которого заключается в построении вычислительного кластера или его прототипа на старых и ненужных смартфонах на ОС *Android* (Андроид, андроид).

Чтобы понять, насколько это допустимо в целом, нужно рассмотреть следующие вопросы:

621892432. Какие попытки подобных построений наблюдались в прошлом?

621892433. Является ли уровень вложений в такой кластер допустимым

621889312. Как построение такого кластера сказывается на экологии?

621891792. Насколько высокопроизводительной будет данная система

621892352. Какие навыки требуются для масштабирования данного решения? Насколько просто масштабировать такое решение.

**Попытки построения таких кластеров в прошлом.** В основном, идея построения многопроцессорных систем на старых смартфонах родилась из юзерленда (*user land*), пользовательского пространства, и *DIY*-культуры, когда пользователи мобильных устройств стали обращать внимание на то, что, со временем, в их домовладениях накапливается большое количество электронного мусора (*e-waste*), включая множество старых, но в том числе и рабочих смартфонов.

Основных путей для избавления от данных устройств четыре.

1. Устройства можно выбросить. По личному опыту, это, вероятно, превалирующее решение в обществе. Более 5 миллиардов смартфонов ежегодно по всему миру оказываются на свалке [5].

2. Также распространен вариант 2 – оставить устройство лежать на полке – потому что и выкинуть жалко, и применить некуда.

3. Меньшинство пользователей прибегает к варианту 3, пытаясь выручить хоть какие-либо деньги с перепродажи таких телефонов. Нередко цены на такие телефоны составляют от 1 белорусского рубля, а также можно встретить предложения об отдаче таких телефонов даром.

3а. Отдача телефонов даром может служить как подвариантом варианта 2, так и подвариантом варианта 3 – либо владелец хотел бы продать устройства, но ясно понимает, что время, потраченное на продажу, дороже, чем вероятная стоимость продажи, либо он хочет отдать устройство тем, кому оно может пригодиться.

4. Четвертым вариантом избавления от старых устройств является нишевый вариант: переназначение старых андроид-устройств. Вариантов переназначения устройств – множество, например, при быстром поиске в поисковой системе *Google* тут же можно найти попытки построения *PleX*-сервера на старых смартфонах фирмы *SAMSUNG*, попытки использования старых смартфонов вместо программаторов в программировании умного дома, мобильный почтовый сервер, аналог *RAID*-массива, и множество других. Чтобы оценить множество вариантов переназначения старых андроид-смартфонов (ПСАС), можно воспользоваться системой *Google*, и запросом «*old smartphone repurposing*».

Сложно сказать, откуда эта идея появилась в юзерленде. Среди вероятных вариантов происхождения ПСАС авторы предполагают накопление критической массы смартфонов у пользователей, или же подорожание одноплатных компьютеров *Raspberry PI*, что вынудило сообщество разработчиков и энтузиастов *Raspberry PI* искать альтернативные аналогичные системы.

**ПСАС в академической среде.** Единственным экспериментом по кластерингу андроид-смартфонов, о котором можно найти упоминания в сети Интернет, является эксперимент группы Себастиана Шильдта, Феликса Бюшинга и Ларса Вольфа из Политехнического Университета Брауншвайга, Германия, под названием *DroidCluster* [3]. Данный эксперимент был проведен в 2012 году. Судя по сохранившимся слайдам презентации, которые данная группа предоставила на конференции *PhoneCom* в 2012 году в Китае, эта идея возникла у них больше как развлечение, чем серьезное мероприятие.

Во время эксперимента группа соединила свои шесть смартфонов в кластер в локальной сети. 4 из 6 смартфонов были одноядерными, с частотой менее 1 ГГц (чипы *MTK*), 1 смартфон был двухядерным на чипе *Tegra 2* (частота около 1 ГГц x 2), а самый производительный смартфон содержал чип *TI OMAP* с двумя ядрами и частотой 1.2 ГГц на 1 ядро. Поверх системы андроид, исследователи установили виртуализированную версию ОС *Debian Linux*, установили пакет *MPI* на виртуализированный *Debian*, и провели некоторые вычисления, о сущности которых данных в их презентации не сохранилось. Система показала линейный рост мощности при масштабировании и весьма умеренные 188.3 МФлопс. Однако группа сделала вывод о перспективности данного направления, особенно акцентировав внимание на том, что современные (на 2012 год) андроид-смартфоны более производительны, чем настольные компьютеры 2002 года.

Полученный мини-кластер исследователи назвали *DroidCluster*. Признавая все предшествующие данному тексту наработки в данной области, авторы предлагают потенциально рассматриваемый кластер назвать *ULDC* (*UserLand + DroidCluster*), или просто *DroidCluster* (ДроидКластер).

Следует отметить, что мотивацией группы Шильдта, Бюшинга, Вольфа послужило их неудовлетворение относительно времени простаивания (времени простоя) типичного пользовательского андроид-смартфона в карманах пользователей в то время, как эти устройства, по их мнению, обладают значительными вычислительными характеристиками.

Мотивация авторов данного тезиса другая. Если в 2012 году смартфоны общего назначения на системе андроид представляли из себя новинку, и исследователи пытались осознать их вычислительный потенциал (в духе

проходивших на то время массовых экспериментов волонтерских вычислений под общим суффиксом *\*@HOME*), то авторов интересует то, что через 10 лет после идеи о ДроидКластере, современная масса андроид-смартфонов представляет из себя потенциальный или уже существующий электронный мусор (*e-waste*), который никуда не используется.

**Что представляет из себя типичный современный андроид-смартфон.** С точки зрения данного текста, авторы будут понимать под современностью 2017 год, так как телефоны приблизительно из этого года на этап написания в 2023 году активно пополняют фонд электронного мусора.

Современный на то время андроид-смартфон – это устройство с 2 – 8-ядерным процессором общего назначения на архитектуре ARM или x86 (*Intel Atom*), в некоторых случаях оснащенное дополнительно графическим процессором (ГП) общего пользования на несколько ядер, имеет около 16 Гб флеш-памяти для хранения и около 2–4 Гб оперативной памяти. Следует отметить, что новопроизведенные ноутбуки для пользовательских задач в 2023 году имеют сравнимую конфигурацию.

Другими словами, современный на то время телефон представляет из себя высокопроизводительный компьютер общего назначения.

**Вопрос об андроид-планшетах.** В целом, андроид-планшеты зарекомендовали себя, как андроид-телефоны с менее удобным форм-фактором, и также активно пополняют фонд электронного мусора на момент написания. Нередки случаи, когда андроид-планшеты выбрасываются в мусор или продаются оптом за символическую цену как нерабочие. Как показывает практика, многие из этих планшетов на самом деле являются рабочими, но требующими специальных процедур для зарядки «глубоко» разряженной литиевой батареи. Как и андроид-смартфоны, планшеты 2010-х годов представляют из себя высокопроизводительные компьютеры общего назначения. Как и андроид-смартфоны, андроид-планшеты используют ОС Андроид, а это значит, что андроид-планшеты можно также использовать для расширения предлагаемого ДроидКластера.

**Куда в Беларуси идёт электронный мусор?** По опыту авторов, пользователи смартфонов, которые предпочитают выбросить свой старый смартфон, не сортируют этот мусор отдельно, и он отправляется на свалки, где закапывается. Несмотря на то, что в Беларуси существуют частные компании, стремящиеся сократить количество электронного мусора (электронных отходов), а также несмотря на то, что Беларусь занимает лидирующее место в СНГ по переработке электронных отходов, распространены ситуации, когда такой мусор не сортируется владельцами, а оказывается на свалках [4,5]

**Вопрос о допустимости iOS-устройств в предлагаемый кластер.** Система *iOS*, представленная на устройствах *iPhone* и *iPad* фирмы *Apple* бинарно несовместима с системой *Android*. Это значит, что для масштабирования ДроидКластера за счёт устройств *Apple* потребуется отдельное ПО. Это увеличивает издержки на содержание кластера. Более того, как показывает практика, устройства *Apple* имеют дополнительную неутилитарную функцию – являются предметами статуса – и, как следствие, реже пополняют фонд электронного мусора.

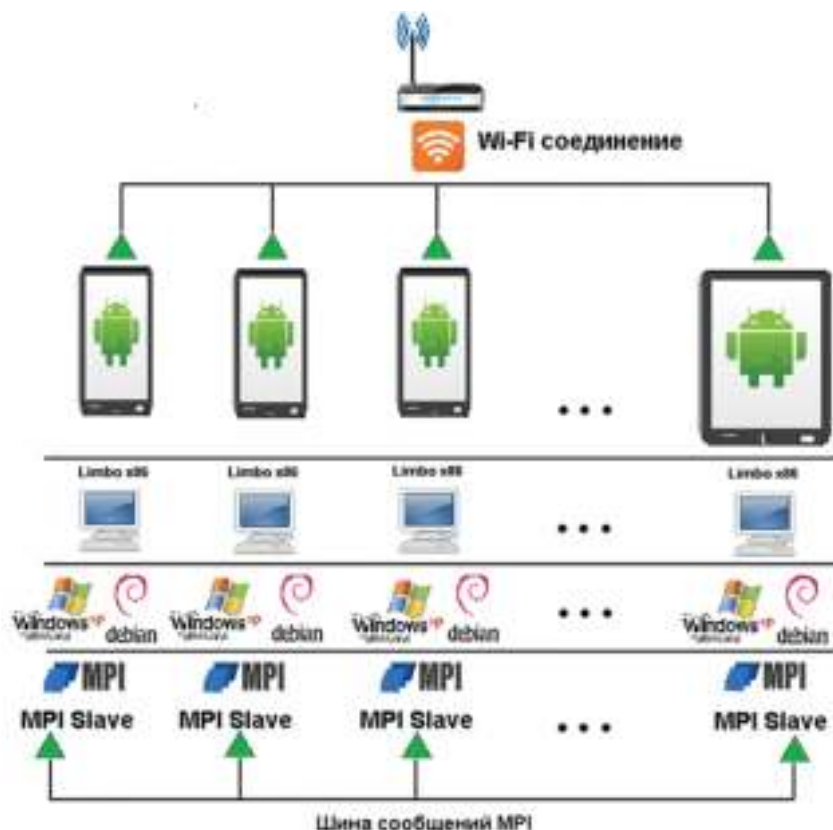
**Предлагаемая архитектура кластера.** Для системы Андроид существуют портированные программные средства виртуализации из систем *Linux* и *Windows*. Предлагается развернуть на устройствах андроид ПО *Limbo x86* с установленной на них нетребовательной к ресурсам ОС, для которой существует портированная версия библиотеки для распределенных вычислений *MPI* (например, *Windows XP* или *Debian Linux*). Далее, следует учитывать, что в *Limbo x86* есть опция настройки *WLAN*-сети хост-устройства (то есть андроид-устройства) в качестве *LAN/Ethernet*-сети виртуальной машины *Limbo x86*. Далее следует увязать все полученные виртуальные устройства через *WLAN*-сеть *Wi-Fi*-роутера, реализовать распределенное *MPI*-приложение и применить его на полученной сети. Примерная архитектура ДроидКластера изображена на иллюстрации 1.

**Масштабируемость системы.** Для того, чтобы добавить дополнительное АЛВУ на базе ОС Андроид в ДроидКластер, требуется установить на него *Limbo x86*, перенести работающий образ системы с *MPI* с уже настроенного смартфона из кластера, и включить его во *WLAN*-сеть ДроидКластера. Таким образом, масштабирование системы тривиально.

**Быстродействие.** Исходя из того, что не существует общей теории расчета быстродействия ПО на современных АЛВУ общего назначения, из-за их большого разнообразия, авторы отмечают, что для массивно распараллеливаемых задач вроде макромолекулярного докинга, решающую роль играет количество АЛВУ на кластер. Исходя из этих рассуждений, ДроидКластер может как служить отдельным вычислительным кластером, так и быть вычислительным дополнением к уже существующему *MPI*-кластеру.

**Выводы.** Авторы предлагают построение вычислительного кластера на старых андроид-смартфонах, который является адекватным решением согласно критериям экономичности, экологичности и масштабируемости, а также является относительно допустимым решением по быстродействию при написании алгоритмов массивно параллельных задач, в том числе задачи макромолекулярного докинга.





#### ЛИТЕРАТУРА

1. Andrey Tovchigrechko, Ilya A. Vakser: GRAMM-X public web server for protein–protein docking. *Nucleic Acids Research*, Volume 34, Issue suppl\_2, 1 July 2006, Pages W310–W314, <https://doi.org/10.1093/nar/gkl206> [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://academic.oup.com/nar/article/34/suppl\\_2/W310/2505594](https://academic.oup.com/nar/article/34/suppl_2/W310/2505594)
2. Shaun Franks, Johnathan Yerby: CREATING A LOW-COST SUPERCOMPUTER WITH RASPBERRY PI. Middle Georgia State College, 2014 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/330855193\\_Creating\\_a\\_Low-cost\\_Supercomputer\\_with\\_Raspberry\\_PI](https://www.researchgate.net/publication/330855193_Creating_a_Low-cost_Supercomputer_with_Raspberry_PI)
3. Felix Buesching, Sebastian Schildt, Lars Wolf: DroidCluster: Towards Smartphone Cluster Computing - The Streets are Paved with Potential Computer Clusters [Электронный ресурс] / 2012, DOI:10.1109/ICDCSW.2012.59. Conference: 32nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS 2012 Workshops). Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/230851531\\_DroidCluster\\_Towards\\_Smartphone\\_Cluster\\_Computing\\_-\\_The\\_Streets\\_are\\_Paved\\_with\\_Potential\\_Computer\\_Clusters](https://www.researchgate.net/publication/230851531_DroidCluster_Towards_Smartphone_Cluster_Computing_-_The_Streets_are_Paved_with_Potential_Computer_Clusters)
4. Репортаж о сборе и переработке электроники в ООО «БелВторСырье» «Новое утро» на РТР-Беларусь [Электронный ресурс] / РТР-Беларусь, СТБ, Минск, 2020. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=5I9dDkTXU6U>
5. Безмусорное будущее [Электронный ресурс] / АТН, Минск, 2023. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=2uG0sx1DzQs>

# NETWORK SPATIAL MODELING USING THE TECHNOLOGY OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN QINGHUANGDAO CITY (PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA)

## СЕТЕВОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГОРОДЕ ЦИНХУАНДАО (КИТАЙСКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА)

**S. A. Lapyonok<sup>1</sup>, Wei Xia<sup>2</sup>, O. I. Rodzkin<sup>1</sup>, A. A. Kologrivko<sup>2</sup>, Y. V. Klausova<sup>2</sup>**  
**С. А. Лаптюнок<sup>1</sup>, Вэй Ся<sup>2</sup>, О. И. Родькин<sup>1</sup>, А. А. Кологривко<sup>2</sup>, Ю. В. Кляусова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
(Republic of Belarus, Minsk)  
267413@mail.ru*

<sup>2</sup>*Belarusian National Technical University  
(Republic of Belarus, Minsk)*

<sup>1</sup>*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Белорусский национальный технический университет (БНТУ), г. Минск, Республика Беларусь*

The results of network spatial modeling are presented in order to optimize the routes of road transport in the process of routine transport work, special transport of emergency services and optimization of the location of service points.

Представлены результаты сетевого пространственного моделирования с целью оптимизации маршрутов автомобильного транспорта в процессе рутинной транспортной работы, специального транспорта экстренных служб и оптимизации расположения пунктов обслуживания.

**Keywords:** network spatial modeling; routine transport work; optimization of traffic routes; service area optimization.

**Ключевые слова:** сетевое пространственное моделирование; рутинная транспортная работа; оптимизация маршрутов движения; оптимизация территории обслуживания.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-284-287>

The last decades are characterized by intensive growth of production all over the world and the associated increase in the number of vehicles and the intensification of their use. In this regard, there is also a significant increase in the contribution to atmospheric pollution by pollutants contained in the exhaust of internal combustion engines. There are currently over 500 million vehicles in use worldwide. Road transport accounts for more than half of all harmful emissions into the environment, which are the main source of air pollution, especially in large cities. On average, with a run of 15,000 km per year, each car burns 2 tons of fuel and about 26 - 30 tons of air, including 4.5 tons of oxygen. As a result of the combustion of liquid fuels, according to various estimates, from 180 to 260 thousand tons of lead are emitted into the air annually, which is 60 to 130 times greater than the natural release of lead into the atmosphere during volcanic eruptions (2–3 thousand tons per year). The current situation requires the adoption of urgent measures aimed at reducing the burden on the environment.

Reducing the level of air pollution by vehicle emissions can be achieved by the following measures:

- reducing the number of vehicles produced and operated, which is not possible under conditions of intensive industrial development;
- reducing the intensity of transport operation, where possible;
- optimization of transport routes.

Route optimization is a measure that provides a number of effects: economic, environmental, ergonomic, etc. Due to the reduction of the vehicle mileage, the mileage is reduced, and, consequently, the fuel consumption and depreciation are reduced, the engine life is saved, the amount of emissions into the atmosphere of pollutants contained in exhaust. Thus, route optimization can have a significant positive impact on the overall situation both locally, regionally and globally.

Geographic information systems (hereinafter referred to as GIS) in the process of their development have evolved from automated mapping systems to full-featured geographically deployed information systems. Currently, GIS tools are used to inventory natural and labor resources, plan healthcare and public services networks, develop cities, design oil pipelines and highways, develop environmental measures and analyze election results, and solve a wide range of scientific and practical problems. The main purpose of GIS is to provide the user with reliable and adequately processed information for solving managerial and analytical problems in a visual form that is convenient for operational analysis. In all industrialized countries, hundreds of GIS of various purposes have been created: land, cadastral, municipal, resource,

environmental, oceanographic, navigation, etc. At present, the main task is the development of GIS and operational automated mapping, coordination of programs for obtaining, processing and distributing geoinformation, creating GIS networks, improving supporting hardware and software. Currently, GIS act as a means of systemic and targeted accumulation of information and environmental management. The development and progress of GIS technologies is largely associated with telecommunication networks that provide a wide range of users with access to geoinformation resources. The combination and interaction of means of telecommunications, geoinformatics and automated mapping greatly enhances their effectiveness and significantly expands the scope. Since on a global scale the development of GIS technologies is dominated by trends towards enlargement, integration and globalization of end products, the purpose of this work was to evaluate the effectiveness of applying spatial analysis methods using GIS tools on a “desktop” scale, i.e. in terms of the possibility of creating small user applications by a wide range of users who do not have special training in the field of GIS technologies.

**Optimization modeling of technological transport routes during routine transport work.** As an object of optimization, the route of technological transport was chosen, which ensures the delivery of products from the manufacturer to a number of consumers in the city Qinhuangdao.

Using the ArcView 3.2a toolkit, a vector spatial model of a part of the territory of the city of Qinhuangdao was built. Using the Network Analyst module, network problems were solved to determine the best routes under interactive conditions – changing the directions of entry and exit and the impossibility of moving along a number of segments of the road network with the formation of a route sheet for each option.

In the case of inaccessibility for passage of certain sections of the road network, this condition was automatically taken into account when solving the optimization problem, and inaccessible sections were excluded from the route. The user-friendly interface of the ArcView application and the Network Analyst extension module ensured the speed of changing conditions when setting tasks for modeling various route options.



*Figure 1 – Topographic basis for creating a network spatial model of a part of the territory of the city Qinhuangdao*



*Figure 2 – Network spatial model of the main streets and driveways of the studied part of the city Qinhuangdao*

It is obvious that the use of software tools that implement algorithms for network spatial analysis makes it possible to solve the problems of operational modeling of traffic routes with dynamic initial conditions and optimization according to specified criteria.

Thus, the technique of network spatial modeling based on the technology of geographic information systems can be effectively used in the implementation of measures to systematically reduce the mileage of road transport in order to improve economic and environmental performance.

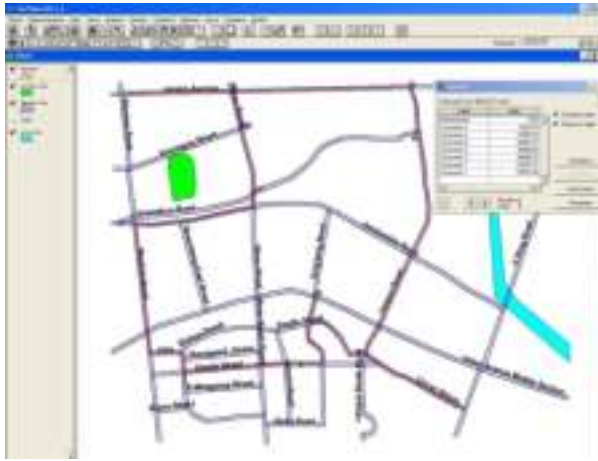


*Figure 3 – Optimized route for the delivery of products from the manufacturer to a number of consumers in the context of routine transport work*

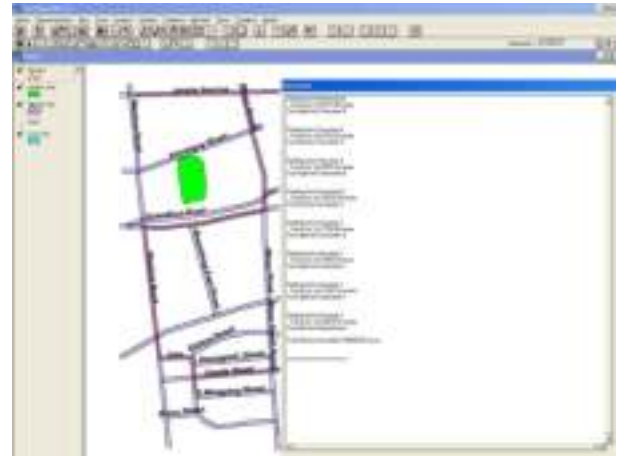


*Figure 4 – Route sheet for the movement of technological transport during the delivery of products from the manufacturer to consumers*

**Application of geographical information system technology in the activities of emergency service.** The simulation of the optimal route for the ambulance crew from the ambulance substations located at different distances from the call address was carried out. Since the routes were optimized by the factor of minimizing the distance traveled, it is obvious that the operational modeling of the optimal route for each call will allow to obtain the effects of reducing the mileage and time to arrival. And a reduction in mileage at one exit, albeit insignificant, taking into account the intensity of the work of the ambulance service and the number of trips, can have a significant positive impact on reducing the corresponding material costs. Reducing the time before the arrival of this service in general is difficult to overestimate.



*Figure 5 – The results of modeling the optimal routes for the movement of an ambulance brigade at various addresses*

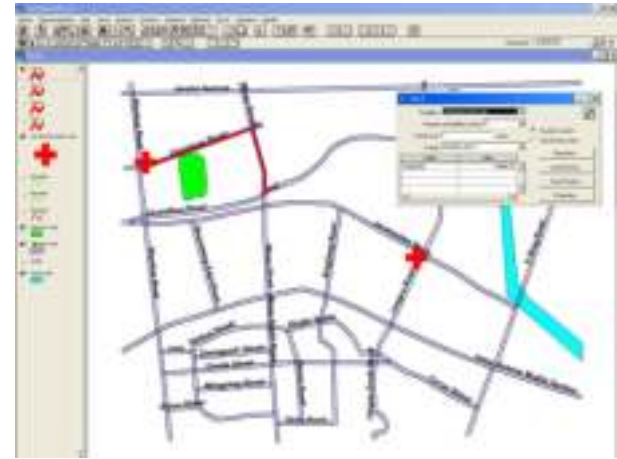


*Figure 6 – The results of modeling the optimal routes for the movement of an ambulance brigade at various addresses*

**Service area optimization modeling.** The location of the facility was optimized for maximum accessibility to all consumers within the road network using ArcView GIS and the Network Analyst extension. Spatial accessibility models of a service point located at different points of the territory are shown in fig. 7–8.





Figure 7 – Optimization of service areas for different location of the service point

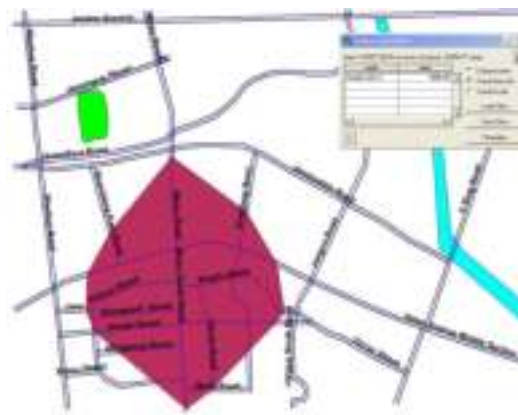


Figure 8 – Optimization of service areas for different location of the service point

## REFERENCES

1. Абламейко, С.В. Геоинформационные системы: создание цифровых карт / Абламейко, С. В., Апарин, Г. П., Крючков, А.Н. – Минск, 2000. – 265 с.
2. Хаксхолд, В.Ё. Введение в городские географические информационные системы /В.Ё. Хаксхолд; Пер. с англ. – New York: Oxford University Press, 1991. – 317 с.
3. Longley, P.A. GIS: Teoria i praktyka / P.A. Longley [et ctr.] – Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006. – 519 s.
4. Бубнов, В.П. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа / В.П.Бубнов, С.В. Дорожко, С.А. Лаптенюк – Минск: БНТУ, 2009. – 266 с.
5. Лаптенюк, С.А. Пространственное моделирование экологических процессов средствами географических информационных систем / Учебно-методическое пособие. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. ISBN 978-985-880-097-0. – 116 с.

## ПРОГРАММНЫЕ ПЛАТФОРМЫ КАК СРЕДСТВО ДЛЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКИ ПАТОЛОГОАНАТОМИЧЕСКОГО ДИАГНОЗА

### SOFTWARE PLATFORMS AS A MEANS FOR MORPHOMETRIC SETTING OF PATHOANATOMIC DIAGNOSIS

**Н. А. Бушкевич<sup>1</sup>, С. Е. Дромашко<sup>2</sup>**  
**N. A. Bushkevich<sup>1</sup>, S. E. Dromashko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
 г. Минск, Республика Беларусь  
 bushkevich.tasha@yandex.ru

<sup>2</sup>Учреждение образования «Университет Национальной академии наук Беларуси»  
 г. Минск, Республика Беларусь  
 s.dromashko@igc.by

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
 Minsk. the Republic of Belarus

<sup>2</sup>«Graduate School of the National Academy of Sciences of Belarus»  
 Minsk. the Republic of Belarus

Изучение основ гистологии является важным звеном в познании тела человека, так как ткани представляют собой один из уровней организации живой материи, основу формирования органов. В течение последних десятилетий была подчеркнута полезность количественных методов в гистопатологии и цитопатологии для различных предметов. Морфометрические методы (морфометрия – количественное описание структуры) – методы, которые в меньшей степени полагаются на качественное наблюдение и тем самым снижают такую субъективность, в настоящее время используются в диагностике патологии, а также в гистологических и клеточно-биологических исследованиях. Фирмы, которые производят оборудование для



микроскопических исследований, такие как Carl Zeiss или Leica, разработали специальные программные платформы, направленные на автоматизацию процесса морфометрии.

The study of the basics of histology is an important link in the knowledge of the human body, since tissues represent one of the levels of organization of living matter, the basis for the formation of organs. In recent decades, the usefulness of quantitative methods in histopathology and cytopathology for various subjects has been emphasized. Morphometric methods (morphometry – quantitative description of the structure) – methods that rely less on qualitative observation and thereby reduce such subjectivity are currently used in the diagnosis of pathology, as well as in histological and cell-biological studies. Companies that produce equipment for microscopic studies, such as Carl Zeiss or Leica, have developed special software platforms aimed at automating the morphometry process.

*Ключевые слова:* программная платформа, патоморфология, морфометрия, микроскопия, Olympus CellSens, Leica Application Suite X (LAS X), ImageJ.

*Keywords:* software platform, pathomorphology, morphometry, microscopy, Olympus cellSens, Leica Application Suite X (LAS X), ImageJ.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-287-290>

Изучение основ гистологии является важным звеном в познании тела человека, так как ткани представляют собой один из уровней организации живой материи, основу формирования органов. В клинической практике цитологический и гистологический анализы применяются для объективной диагностики различных опухолей, заболеваний крови, иммунной системы и др.

Оценка структурных изменений в клетках и тканях в значительной степени основана на качественном описании, которое может быть и часто подвержено серьезным ошибкам, поскольку оно, по существу, субъективно.

В течение последних десятилетий была подчеркнута полезность количественных методов в гистопатологии и цитопатологии для различных объектов. Кроме того, миникомпьютеры стали широко доступны и становятся все более дешёвыми и доступными для приобретения, что связано с появлением микрокомпьютеров.

Значение морфометрии в диагностике патологии возрастает, и она становится незаменимой. Применение морфометрии в диагностике патологии заключается в ее преимуществах: объективности, воспроизводимости и возможности обнаружения.

Морфометрические методы (морфометрия – количественное описание структуры) – методы, которые в меньшей степени полагаются на качественное наблюдение и тем самым снижают такую субъективность, в настоящее время используются в диагностике патологии, а также в гистологических и клеточно-биологических исследованиях. Морфометрия включает в себя методы, которые имеют преимущества в виду повышения объективности, улучшения воспроизводимости и, кроме того, они позволяют обнаруживать ранее не подозреваемые изменения. Эти преимущества дают получение количественных данных с помощью микроскопических изображений (микрофотографий).

На настоящем этапе исследований большой проблемой является анализ гистологических препаратов. При появлении, а затем и обширном внедрении в исследования световой микроскопии появилось много методов для измерения размеров, форм клеточного и внеклеточного компонента, а также тканей в целом. Проблема состоит в том, что сами методы трудозатратны, так как предполагают непосредственное измерение отдельной структуры при исследовании. В связи с этим, результаты могут быть интерпретированы субъективно и поэтому не застрахованы от ошибок во время исследования [1].

По этим причинам, фирмы, которые производят оборудование для микроскопических исследований, такие как Carl Zeiss или Leica, разработали специальные программные платформы, направленные на автоматизацию процесса морфометрии. Эти программы работают как с изображением, получаемым с цифровой камеры в режиме реального времени, так и с электронными фотографиями (микрофотографиями) [1].

К таким программным платформам относят: Olympus CellSens, Leica Application Suite X (LAS X), ImageJ и др. Olympus CellSens (разработана для микроскопов фирмы Olympus) – программная платформа, которая позволяет обрабатывать изображение, сфотографированное с помощью микроскопа, а также анализировать микропрепараты в режиме реального времени. Пользовательский интерфейс программы интуитивно понятен любому пользователю, включает в себя все необходимые функции обработки и редактирования изображений, имеется возможность экспорта полученных данных в программы пакета Microsoft Office, возможно настраивание интерфейса, а также были созданы макеты интерфейсов, каждый из которых разработан с возможностями, соответствующими потребностям пользователя (например, 1. макет обработки – для функций после сбора данных, таких как обработка изображения, измерение, сбор данных и представление результирующей статистики или 2. макет подсчета и измерения – для ручного и автоматизированного измерения и подсчета объектов). Одной из важных функций является измерение размеров, площадей интересующей области исследования [2].

Leica Application Suite X (LAS X) – это единая программная платформа для всех микроскопов Leica: она объединяет конфокальные, широкополосные, стереофонические приборы, приборы со сверхразрешением и приборы с подсветкой от Leica Microsystems. Программа позволяет просматривать и отображать данные, для это необходимо выбрать объект на экране, измерения, касающиеся этого объекта, будут представлены в таблице результатов, присутствует возможность автоматической классификации для группировки результатов, а также сохранение результатов вместе с экспериментом или создание отчета, включающего гистограмму [3].

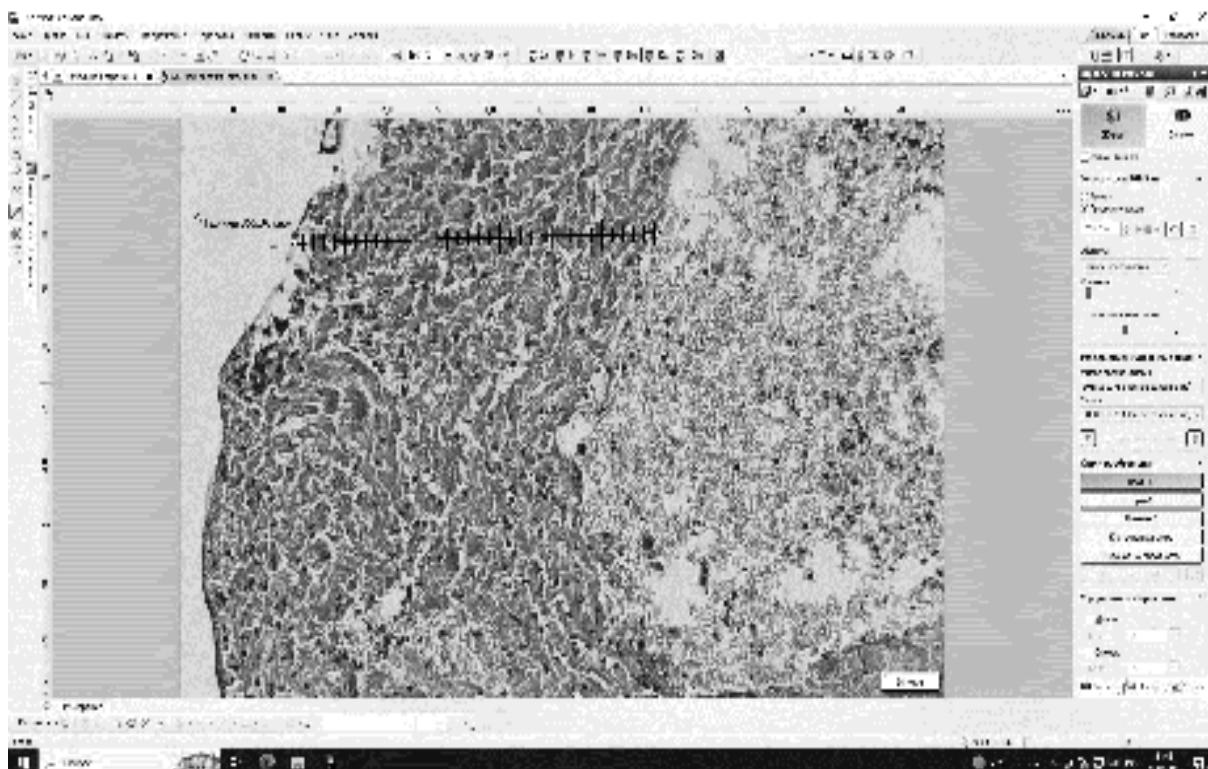


Рисунок 1 – Интерфейс программной платформы Olympus CellSens

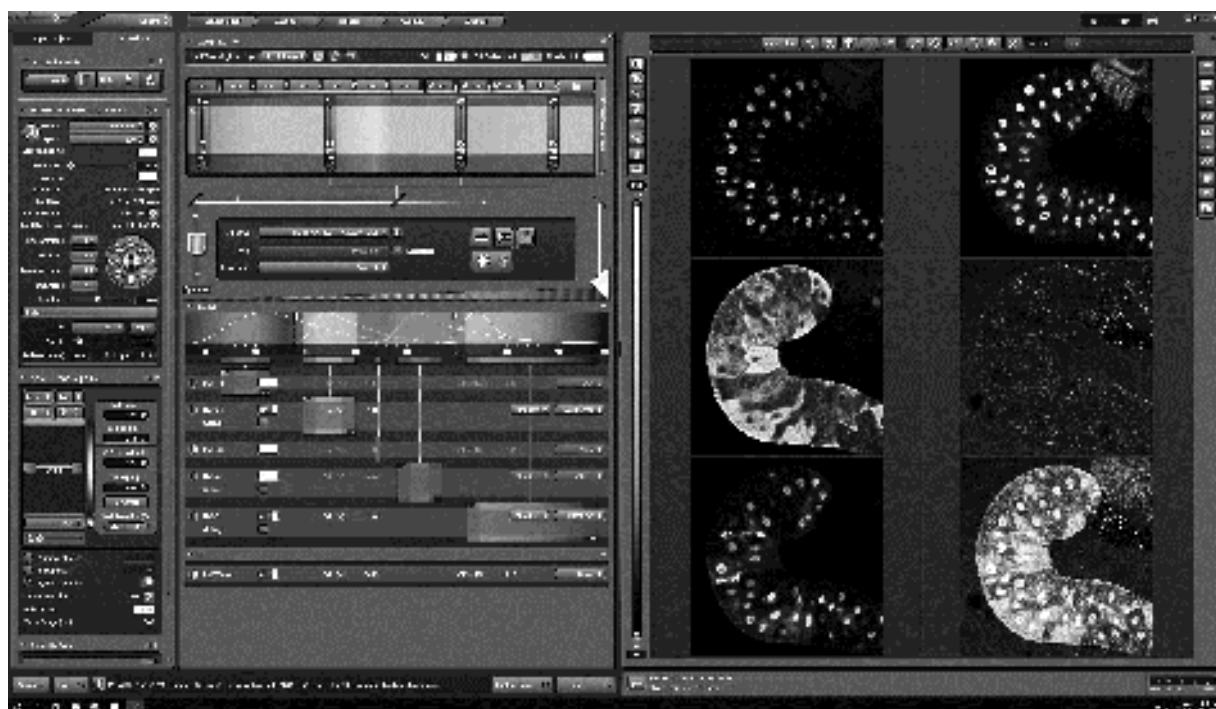


Рисунок 2 – Интерфейс программной платформы Leica Application Suite X (LAS X)

ImageJ – программа, которая даёт возможность отображать, редактировать, анализировать, обрабатывать, сохранять и печатать 8-битные, 16-битные и 32-битные изображения. В ImageJ можно вычислять площади и статистические показатели пиксельных значений областей изображения, выделяемых вручную или при помощи пороговых функций, измерять расстояния и углы, строить гистограммы плотности и рисовать профили линий. ImageJ поддерживает базовые функции обработки изображений. Программа позволяет выполнять геометрические преобразования: масштабирование, поворот, отражение и т.д [4].

На сегодняшний день ImageJ одна из самых быстрых программных платформ для обработки изображений: она обрабатывает около 40 миллионов пикселей в секунду [1].

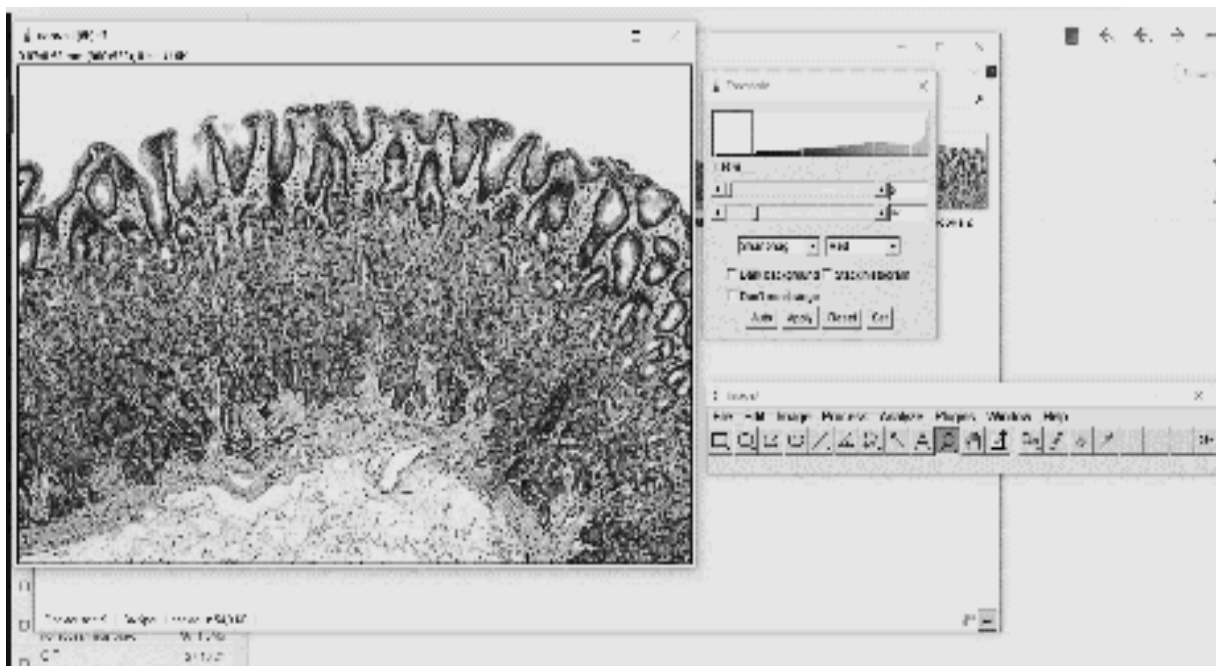


Рисунок 3 – Интерфейс программной платформы ImageJ

В последние десятилетия происходит накопление цитологического материала в архивах, увеличение его вариативности в пределах одного диагноза, а также создание баз данных, в которые вносятся результаты, полученные при морфометрическом анализе микропрепаратов. В связи с этим, появились первые попытки моделирования внедрения искусственного интеллекта в процесс анализа, которые подразумевают полное отсутствие вмешательства человека при постановке патологического диагноза. Предполагается, что искусственный интеллект сам сможет ставить диагноз на основе сравнения исследуемого микропрепарата с уже имеющимися в базе усредненными результатами, накопленными при целенаправленных исследованиях. Если это станет возможным, в будущем будет допустимо увеличение числа положительных исходов при лечении пациентов, в связи с резким ускорением постановки диагноза.

Исходя из вышеизложенного, для своей работы мы выбрали программную платформу Olympus CellSens в виду большого разнообразия функций, удобства и скорости использования интерфейса, возможности делать измерения в режиме реального времени, а также платформа позволяет сохранять фотографии высокого качества с наложенными результатами измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боганец М. А., Использование программы ImageJ для автоматической морфометрии в гистологических исследованиях / М. А. Боганец // Омский научный вестник. – № 2. – 2011.
2. Olympus. User Manual. CellSens. Life science imaging software. – Mode of access: <https://manualmachine.com/olympus/cellsens16/2862695-user-manual>. – Date of access: 19.02.2023.
3. Leica Application SuiteLAS V2.7. LAS User Manual. – Mode of access: <https://www.leica-microsystems.com/products/microscope-software/p/leica-las-x-ls>. – Date of access: 19.02.2023.
4. Конюхов, А. Л., Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: учеб. метод. пособие / А. Л. Конюхов. – Томск: ТУСУР, 2012. – 105 с.



# РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

## DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR RECOGNITION OF HANDWRITTEN NUMBERS USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

**Т. В. Бучукова<sup>1,2</sup>, И. В. Лефанова<sup>1,2</sup>, И. В. Мартинкевич<sup>1,2</sup>**

**T. V. Buchukova<sup>1,2</sup>, I. V. Lefanova<sup>1,2</sup>, I. V. Martinkevich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ),

г. Минск, Республика Беларусь

buchukova.tat@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus

В статье описана разработка приложения распознавания рукописных цифр средствами нейросетевых технологий.

The article describes the development of a handwritten digit recognition application using neural network technologies.

**Ключевые слова:** Искусственная нейронная сеть, распознавание образов, графический пользовательский интерфейс, сверточные нейронные сети.

**Keywords:** Artificial neural network, pattern recognition, graphical user interface, convolutional neural networks.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-291-294>

Постановка задачи. Распознавание рукописных символов является одной из базовых задач компьютерного зрения и дает возможность не только «увидеть» надписи, но и «понять» их смысл. В статье остановимся на решении частной задачи: разработку приложения, принимающего в качестве входных данных изображение любой цифры в виде массива 28х28 пикселей и выдающего на выходе саму «сущность» – цифру от 0 до 9 с определенной долей вероятности.

Так как базовым является массив 28х28 точек, задействовано будет 784 нейрона, содержащие цифры от 0 до 1, чем ближе значение к 1, тем ближе цвет точки к белому. Числа определим как активации нейронов. Данные нейроны образуют входной слой нейронной сети. Выходной слой содержит 10 нейронов для цифр от 0 до 9. В выходном слое каждому из нейронов также соответствует цифра от 0 до 1, отражающая «уверенность» приложения в том, что входное изображение соответствует конкретной цифре. Чем ближе значение конкретного нейрона к 1, тем «увереннее» приложение в том, что пользователь написал конкретную цифру. Также используются средние слои, называемые скрытыми, их число и количество содержащихся в них нейронов определяется исходя из поставленной задачи. В описываемом тестовом примере используется один скрытый слой с 256 нейронами.

Скрытый слой необходим для определения состава каждой цифры (например, цифру «четыре» можно представить в качестве трех определенным образом расположенных и соединенных между собой линий, цифру «девять» – в качестве окружности и линии справа, цифру «восемь» – в качестве двух окружностей, расположенных друг над другом и имеющих одну общую точку).

Переход от скрытого слоя к выходному может, таким образом, представлять собой соответствие набора элементов какой-либо цифре. Вместе с тем для достижения высокой степени точности или распознавания большого набора символов каждый элемент можно разбить на составляющие. Таким образом введенное изображение приводит к активации определенных нейронов первого скрытого слоя, определяющих характерные составляющие элементов цифр, эти нейроны в свою очередь активируют более крупные формы (элементы), и в результате активируется нейрон выходного слоя, ассоциированный определенной цифре.

Для решения поставленной задачи необходимо определить алгоритм обучения искусственной нейронной сети, который будет находить значения весов и смещения. Кроме того, необходим тренировочный набор данных для обучения нейронной сети. Под итерацией будем понимать общее количество эталонных данных для обучения. Эпоха является счетчиком прохождений всего набора эталонных данных, при этом, чем больше значение данного счетчика, тем лучше обучена искусственная нейронная сеть и соответственно тем точнее получаемый приложением результат. Ошибка представляет собой процентную величину, отражающую расхождение ожидаемого



и полученного результата, при этом ошибка формируется каждую эпоху и с увеличением эпохи должна идти на спад. После каждой эпохи необходимо изменять веса для уменьшения ошибки. Процесс обучения искусственной нейронной сети таким образом сводится к уменьшению ошибки.

**Материалы и методы исследования.** В качестве эталонного набора данных используется MNIST (сокращение от «Modified National Institute of Standards and Technology») – объёмная база данных образцов рукописного написания цифр. Данный набор был сформирован Национальным институтом стандартов и технологий США. В качестве базы были взяты образцы написания цифр из результатов переписи населения. С течением времени к ним добавлялись другие варианты, например, взятые из тестирований студентов и т.п. В эталонном наборе (датасете) содержится 70 тысяч картинок с цифрами от 0 до 9, приведенных к одинаковому виду (черный фон – центрированная белая цифра 20×20 пикселей), имеющему размер 28×28 пикселей. Набор разделен на две неравные части: train (60 тысяч изображений, которые используются для обучения) и test (10 тысяч изображений, которые используются в качестве тестовой выборки для проверки результатов обучения).

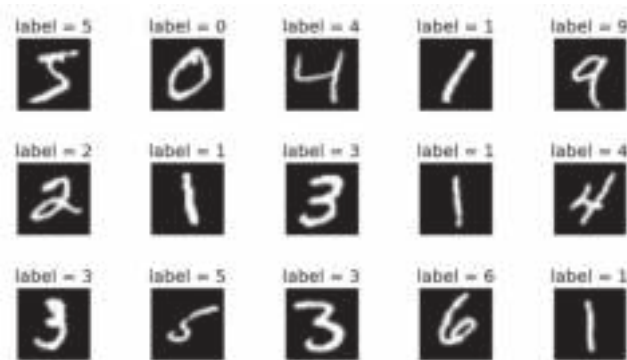


Рисунок 1 – Набор данных MNIST

Непосредственно для разработки приложения использовались язык программирования Python 3.9, библиотеки глубокого обучения TensorFlow и Keras, библиотека для разработки графического пользовательского интерфейса Tkinter. Библиотека Keras содержит в своем составе эталонный набор данных MNIST. Разработка велась в интерактивном блокноте Jupyter Notebook.

Первым шагом является подключение, обработка и преобразование набора данных

```
import keras
from keras.datasets import mnist
(x_train, y_train), (x_test, y_test) = mnist.load_data()
x_train = x_train.reshape(x_train.shape[0], 28, 28, 1)
x_test = x_test.reshape(x_test.shape[0], 28, 28, 1)
y_train = keras.utils.to_categorical(y_train, num_classes)
y_test = keras.utils.to_categorical(y_test, num_classes)
x_train = x_train.astype('float32')
x_test = x_test.astype('float32')
x_train /= 255
x_test /= 255
print('Размерность x_train:', x_train.shape)
print(x_train.shape[0], 'Размер выборки train')
print(x_test.shape[0], 'Размер выборки test')
```

После загрузки, обработки и преобразования обучающей выборки создаем сверточную нейронную сеть, описанную ранее и обучаем модель, используя функцию `model.fit()` из библиотеки Keras, которая принимает тренировочные, валидационные данные, эпохи (epoch) и размер батча (batch). После обучения веса и определение модели сохраняются в файле `mnist.h5`. Далее производится оценка качества обучения модели.

Для обучения было установлено десять эпох, как видно на рисунке 2 при прохождении эпох от 1 до 10, уменьшаются потери на тесте и увеличивается точность обучения на тесте.

Завершающим этапом разработки приложения является разработка графического пользовательского интерфейса: стандартное окно Windows, содержащее поле для рисования цифры (выделено серым), поле для вывода результатов распознавания и двух кнопок: для запуска процесса распознавания и для очистки поля для рисования.

```

(60000, 28, 28) (00000,)
Размерность x_train: (60000, 28, 28, 1)
00000 Размер train
10000 Размер test
Epoch 1/10
489/489 [=====] - 71s 151ms/step - loss: 2.2063 - accuracy: 0.1621 - val_loss: 2.2077 - val_accuracy: 0.4163
Epoch 2/10
489/489 [=====] - 73s 155ms/step - loss: 2.1739 - accuracy: 0.3151 - val_loss: 2.0961 - val_accuracy: 0.6086
Epoch 3/10
489/489 [=====] - 69s 148ms/step - loss: 2.0587 - accuracy: 0.4541 - val_loss: 1.9428 - val_accuracy: 0.7016
Epoch 4/10
489/489 [=====] - 70s 149ms/step - loss: 1.9030 - accuracy: 0.5550 - val_loss: 1.7535 - val_accuracy: 0.7488
Epoch 5/10
489/489 [=====] - 71s 152ms/step - loss: 1.7097 - accuracy: 0.6157 - val_loss: 1.5161 - val_accuracy: 0.7748
Epoch 6/10
489/489 [=====] - 69s 147ms/step - loss: 1.4873 - accuracy: 0.6681 - val_loss: 1.2664 - val_accuracy: 0.7937
Epoch 7/10
489/489 [=====] - 69s 147ms/step - loss: 1.2009 - accuracy: 0.6862 - val_loss: 1.0400 - val_accuracy: 0.8123
Epoch 8/10
489/489 [=====] - 70s 148ms/step - loss: 1.1127 - accuracy: 0.7069 - val_loss: 0.8826 - val_accuracy: 0.8269
Epoch 9/10
489/489 [=====] - 71s 151ms/step - loss: 0.9070 - accuracy: 0.7290 - val_loss: 0.7648 - val_accuracy: 0.8366
Epoch 10/10
489/489 [=====] - 71s 150ms/step - loss: 0.8924 - accuracy: 0.7454 - val_loss: 0.6882 - val_accuracy: 0.8478

```

Рисунок 2 – Процесс обучения модели

```

Модель успешно обучена
Модель сохранена как mnist.h5
Потери на тесте: 0.6801786422729492
Точность на тесте: 0.847599983215332

```

Рисунок 3 – Результат обучения модели

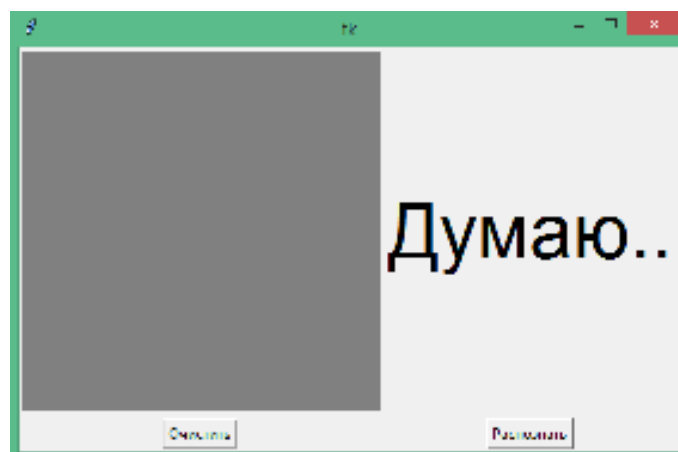


Рисунок 4 – Графический пользовательский интерфейс приложения

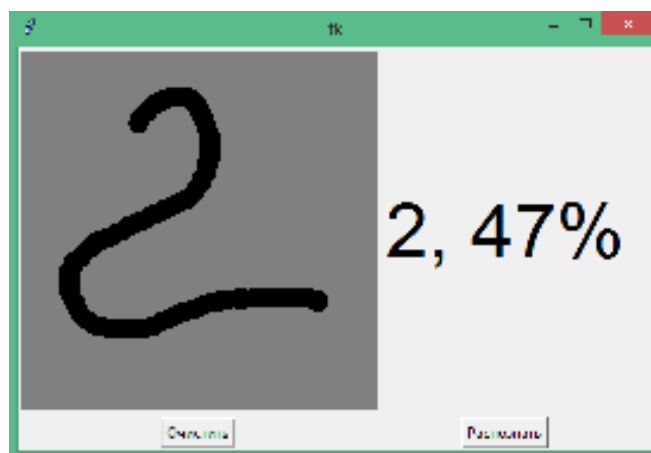


Рисунок 5 – Тестирование работы приложения и правильности обучения модели на примере цифры «2»

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Bishop, C.M. Neural Networks for Pattern Recognition*/C.M. Bishop – Oxford University Press, 1995. 485 p.
2. *Mc Culloch W.C. H. A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity.* / W. C. Mc Culloch, W. H. Pitts. // Bulletin of Mathematical Biophysics. – 1943. – Vol. 5. – p. 115–119.

## РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ SEIR ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИЙ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

## DEVELOPMENT OF A MODIFIED SEIR MODEL FOR MODELING THE DYNAMICS OF THE SPREAD OF EPIDEMICS OF INFECTIOUS DISEASES

**И. В. Лефанова<sup>1,2</sup>, Т. В. Смирнова<sup>1,2</sup>**

**I. V. Lefanova<sup>1,2</sup>, T. V. Smirnova<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
irina.lefanova@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus

В статье описывается разработка модифицированной модели SEIR для математического и компьютерного моделирования динамики распространения эпидемий инфекционных заболеваний. Передаточные коэффициенты модели рассчитываются на основе клинических данных из открытых источников.

The article describes the development of a modified SEIR model for mathematical and computer modeling of the dynamics of the spread of epidemics of infectious diseases. The transfer coefficients of the model are calculated based on clinical data from open sources.

**Ключевые слова:** компартментные модели, модель SEIR, эпидемиология, эпидемия, математическое моделирование, компьютерное моделирование

**Keywords:** compartment models, SEIR model, epidemiology, epidemic, mathematical modeling, computer modeling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-294-297>

Компартментные модели основаны на законе сохранения масс и особенностях передачи инфекции. Математическое моделирование в эпидемиологии фактически началось с работы D. Bernoulli в 1760 году, обосновывающей эффективность проведения вакцинации населения против ветряной оспы. Впоследствии появилась математическая модель, основанная на законе баланса масс, которые в итоге дали основу для создания компартментной SIR-модели W.O. Kermack и A.G. McKendrick.

В рамках математического моделирования было построено следующая схема распространения эпидемии:

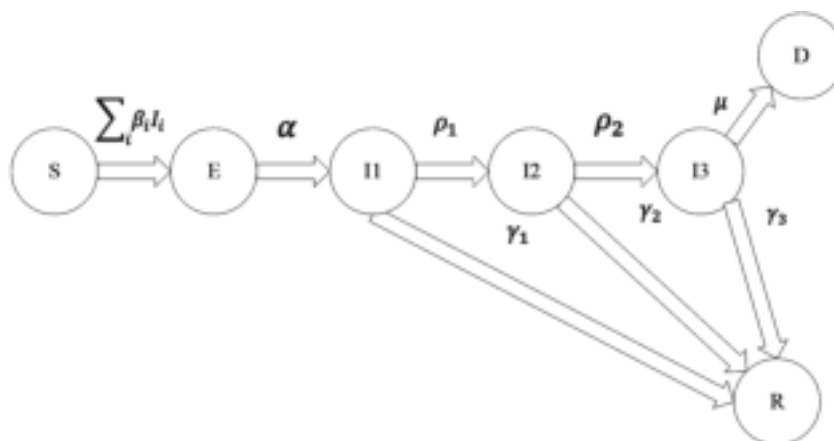


Рисунок 1 – Диаграмма передачи для модифицированной модели SEIR

Построена система дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned}\dot{S} &= -(\beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 + \beta_3 I_3)S \\ \dot{E} &= (\beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 + \beta_3 I_3)S - \alpha E \\ \dot{I}_1 &= \alpha E - (\gamma_1 + \rho_1) I_1 \\ \dot{I}_2 &= \rho_1 I_1 - (\gamma_2 + \rho_2) I_2 \\ \dot{I}_3 &= \rho_2 I_2 - (\gamma_3 + \mu) I_3 \\ \dot{R} &= \gamma_1 I_1 + \gamma_2 I_2 + \gamma_3 I_3 \\ \dot{D} &= \mu I_3 \\ N &= S + E + I_1 + I_2 + I_3 + R + D\end{aligned}$$

В данной модели

S – восприимчивая часть популяции

E – инфицированные в латентном периоде (бессимптомные и незаразные)

I<sub>1</sub> – зараженные по классам тяжести

I<sub>1</sub> – легкие (слабая симптоматика, госпитализация не требуется)

I<sub>2</sub> – средней тяжести (ярко выраженная симптоматика, рекомендуется госпитализация)

I<sub>3</sub> – тяжелая (ярко выраженная симптоматика, дыхательная недостаточность, полиорганная дисфункция, требуется госпитализация в отделение интенсивной терапии и искусственная вентиляция легких)

R – выздоровевшие люди с временным иммунитетом

D – умершие

$\beta_i$  – скорость, с которой инфицированные люди из класса I<sub>i</sub> могут контактировать с восприимчивыми и заражать их

$\alpha$  – скорость перехода заболевания из латентного периода в инфекционный

$\gamma_i$  – скорость, с которой индивиды из компартмент I<sub>i</sub> вылечиваются и переходят в состояние невосприимчивых

$\rho_i$  – скорость, с которой индивиды из компартменты I<sub>i</sub> переходят в компартменту I<sub>i+1</sub>

$\mu$  – смертность для индивидов из компартменты I<sub>3</sub>

Общая численность популяции является постоянной

$$N = S + E + I_1 + I_2 + I_3 + R + D$$

Параметры определяются на основании усредненных клинических наблюдений из открытых источников:

IP=5 #Инкубационный период, дни (IP)

LI=10 #Средняя продолжительность легких инфекций, дни (LI)

FLI=0.8 #Доля легких инфекций (FLI)

FHI=0.15 #Доля инфекций средней тяжести (FHI)

FCI=0.05 #Доля тяжелых (критических) инфекций (FCI)

FR=0.02 #Коэффициент летальности, доля инфекций, приведших к смерти (FR)

TD=7 #Время от поступления в отделение интенсивной терапии до смерти или выздоровления (TD)

DH=11 #Продолжительность пребывания в стационаре, дни (DH)

Передаточные коэффициенты рассчитываются по формулам

$$\alpha = 1/IP$$

$$\gamma_1 = (1/LI) * FLI$$

$$\rho_1 = (1/LI) - \gamma_1$$

$$\rho_2 = (1/TD) * (FCI / (FHI + FCI))$$

$$\gamma_2 = (1/TD) - \rho_2$$

$$\mu = (1/DH) * (FR / FCI)$$

$$\gamma_3 = (1/DH) - \mu$$

Предположительно индекс репродукции можно представить как сумму следующих компонентов:

- среднее количество вторичных инфекций, полученных от человека на стадии I<sub>1</sub>
- вероятность того, что инфицированный человек прогрессирует до I<sub>2</sub>, умноженная на среднее количество вторичных инфекций, полученных от человека на стадии I<sub>2</sub>
- вероятность того, что инфицированный человек прогрессирует до I<sub>3</sub>, умноженная на среднее количество вторичных инфекций, полученных от человека на стадии I<sub>3</sub>

$$\begin{aligned}R_0 &= N \frac{\beta_1}{\rho_1 + \gamma_1} + \frac{\rho_1}{\rho_1 + \gamma_1} \left( \frac{N\beta_2}{\rho_2 + \gamma_2} + \frac{\rho_2}{\rho_2 + \gamma_2} \frac{N\beta_3}{\mu + \gamma_3} \right) \\ &= N \frac{1}{\rho_1 + \gamma_1} \left( \beta_1 + \frac{\rho_1}{\rho_2 + \gamma_2} \left( \beta_2 + \beta_3 \frac{\rho_2}{\mu + \gamma_3} \right) \right)\end{aligned}$$



Разработка компьютерных моделей распространения эпидемий выполнялась в IDE Spyder на языке программирования Python 3.9

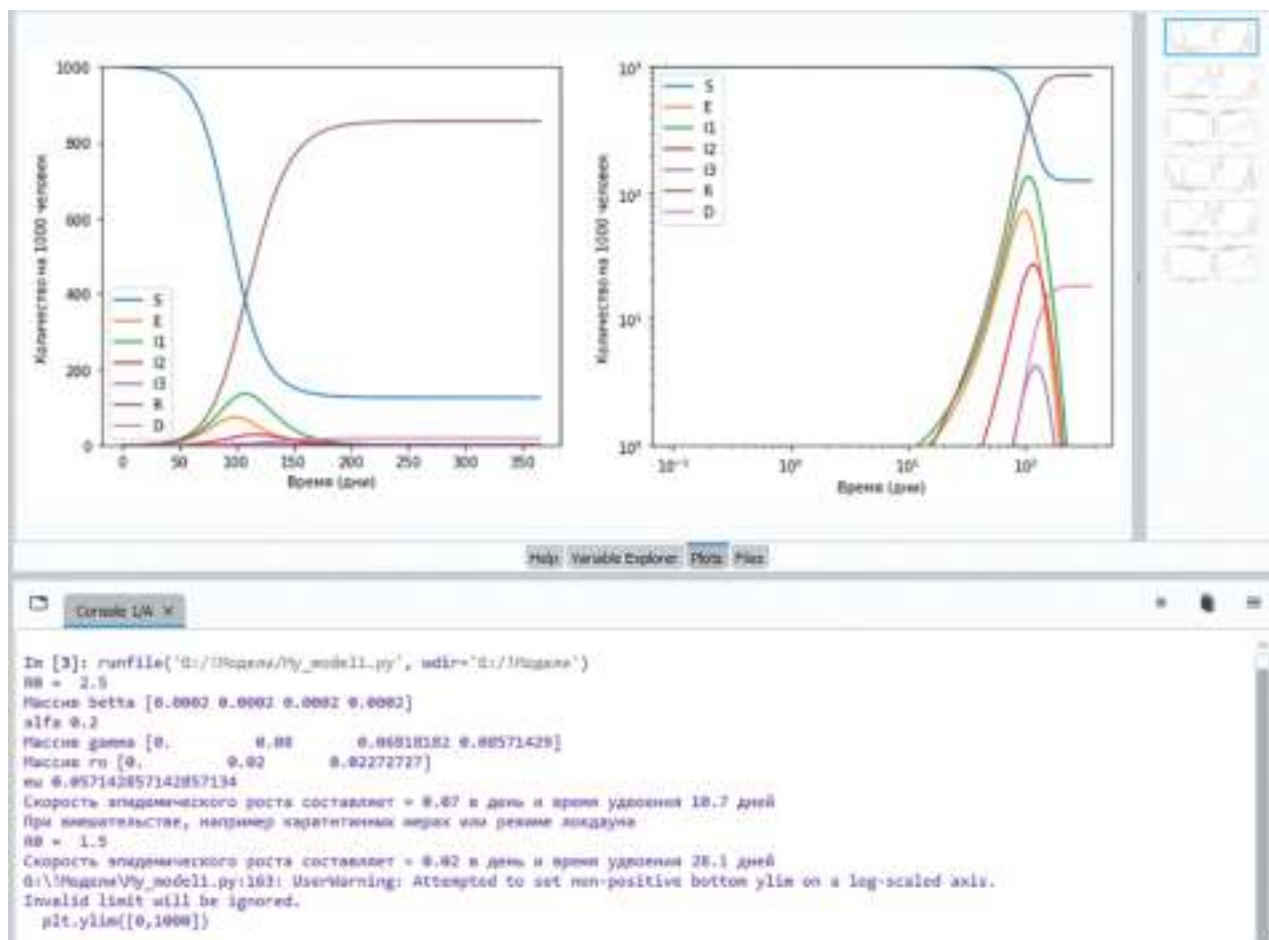


Рисунок 2 – Результат работы приложения

В результате работы приложения получены следующие данные

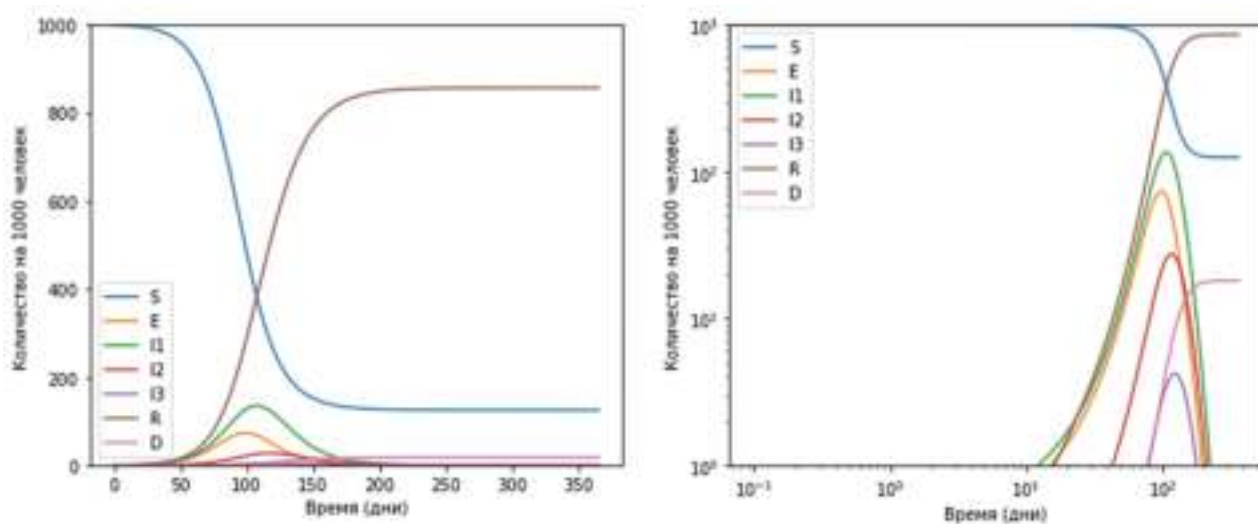


Рисунок 3 – Динамика компартмент

Результаты расчетов

$R_0 = 2.5$   
Массив beta [0.0002 0.0002 0.0002 0.0002]  
alfa 0.2  
Массив gamma [0. 0.08 0.06818182 0.08571429]  
Массив ro [0. 0.02 0.02272727]

ми 0.057142857142857134

Скорость эпидемического роста составляет = 0.07 в день и время удвоения 10.7 дней

При вмешательстве, например, карантинных мерах или режиме локдауна

$R_0 = 1.5$

Скорость эпидемического роста составляет = 0.02 в день и время удвоения 28.1 дней

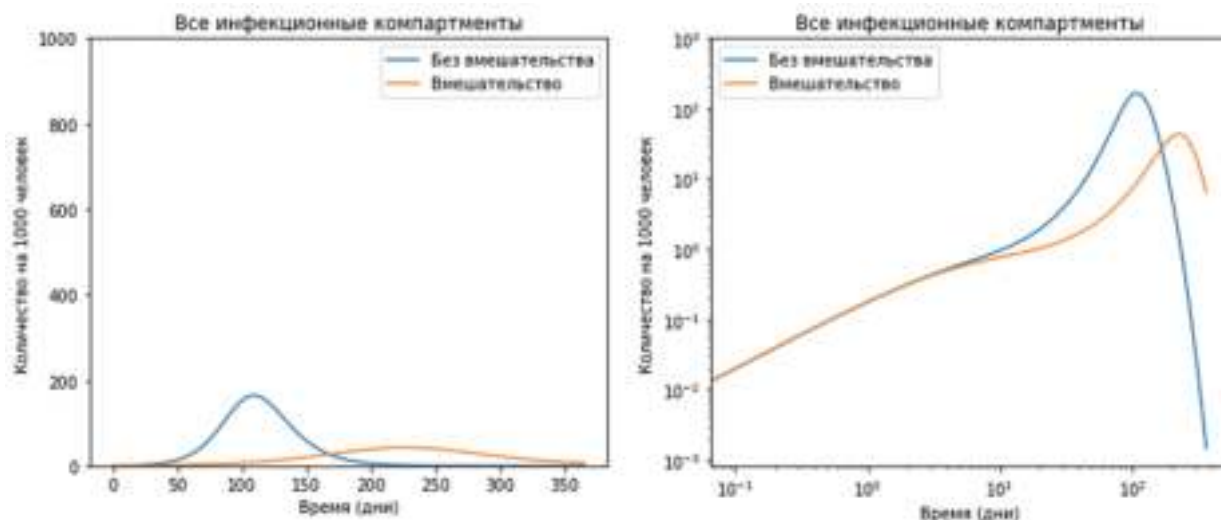


Рисунок 4 – Сравнение динамики компартмент без вмешательства в ход распространения эпидемии и при вмешательстве

Согласно таким расчетам  $R_0 = 2.5$ , что не противоречит заявленным данным. Индекс репродукции, по данным Китайского центра по контролю и профилактике заболеваний, оценивается между 2 и 3, что по определению индекса соответствует количеству людей, которые заражаются от одного инфицированного, одно из исследований оценило среднее значение по состоянию на 22 января 2020 года в 2,2.

Построенная компьютерная модель динамики распространения эпидемии SARS-CoV-2 является модифицированной моделью SEIR, передаточные коэффициенты которой определены на основании усредненных клинических наблюдений из открытых источников (подбор и расчет параметров производился на основании данных о количестве пациентов с инфекциями разной степени тяжести непосредственно в отделениях больниц и данных о сроках нахождения пациентов каждой компартменты  $I_n$  в отделениях за определенный промежуток времени, что предполагает заражение всех пациентов одним и тем же штаммом вируса SARS-CoV-2).

Важно отметить, что построить единую внутренне непротиворечивую модель распространения эпидемии SARS-CoV-2 сложно за счет постоянной мутации вируса и возникновения новых штаммов с другими качественными и количественными характеристиками. Также не смотря на единое семейство, данные по завершённым вспышкам эпидемий SARS-CoV (бетакоронавирус В) за 2002 г. и MERS-CoV (бетакоронавирус С) за 2015г. не могут в полной мере быть эталонными для обучения любого типа модели SARS-CoV-2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Peng R., Dominici F. Statistical Methods for Environmental Epidemiology with R: A Case Study in Air Pollution and Health /R. Peng, F. Dominici– Springer-Verlag New York, 2008. – 151 p.
2. Kestenbaum B. Epidemiology and Biostatistics: An Introduction to Clinical Research /B. Kestenbaum – Springer Nature Switzerland, 2019. – 282 p.
3. Azar A., Hassanien A. Modeling, Control and Drug Development for COVID-19 Outbreak Prevention / A. Azar, A. Hassanien– New York: Springer, 2022. – 1122 p.

# ОБЗОР ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

## REVIEW OF GEOINFORMATION SYSTEMS FOR RADIATION MONITORING

**А. А. Будько<sup>1,2</sup>, П. К. Шалькевич<sup>1,2</sup>, Л. А. Липницкий<sup>1,2</sup>**  
**A. A. Budko, P. K. Shalkevich, L. A. Lipnitsky**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
*budko.anzhelika@gmail.com*

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, the Republic of Belarus

В статье дается краткое описание ГИС радиационного мониторинга. Рассматривается необходимость использования ГИС в экологическом мониторинге. Приведены примеры использования ГИС.

This article gives a brief description of the radiation monitoring GIS. The necessity of using GIS in environmental monitoring is considered. Examples of the use of GIS are given.

*Ключевые слова:* экологический мониторинг, геоинформационные системы, QuantumGIS, MapInfo, ArcGIS.

*Keywords:* environmental monitoring, geoinformation systems, QuantumGIS, MapInfo, ArcGIS.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-298-301>

Одно из центральных мест в обеспечении устойчивого развития человеческого общества занимает проблема защиты окружающей среды. Для ее решения необходимо создание системы, способной определять источники и факторы техногенного воздействия, контролировать состояние окружающей среды, выявлять элементы биосферы, наиболее подверженные воздействию и оценивать степень этого воздействия. В связи с этим ключевой системой обеспечения качества природной среды стал экологический мониторинг. Важной частью экологического мониторинга является радиационный мониторинг окружающей среды. На сегодняшний день значительное радиоактивное загрязнение территорий земного шара, вызванное как военно-промышленным использованием ядерных технологий, так и авариями на энергетических ядерных объектах делает весьма актуальным совершенствование системы организации и проведения радиационного мониторинга природной среды.

Основная задача радиоэкологического мониторинга – создание единого информационного пространства, которое может быть сформировано на основе использования современных геоинформационных технологий. Большой объем информации, характерный для экологических исследований, зачастую из-за трудностей восприятия и комплексного характера не может помочь решить проблему, без визуализации на географической карте. Интеграционный характер географических информационных систем (ГИС) позволяет создать на их основе мощный инструмент для сбора, хранения, систематизации, анализа и представления информации. Возможности ГИС позволяют считать эту технологию наиболее приемлемой для целей обработки и управления данными мониторинга [1].

Современная ГИС – это автоматизированная система, имеющая большое количество графических и тематических баз данных, соединенная с модельными и расчетными функциями для манипулирования ими и преобразования в пространственную картографическую информацию для принятия на ее основе разнообразных решений и осуществления контроля.

Развитие информационных технологий, использующих персональные компьютеры, локальные и глобальные сети передачи данных, геоинформационные системы и многое другое, создает потенциальную возможность для внедрения информационно-аналитических систем экологического мониторинга для анализа радиоэкологической обстановки и поддержки принятия решений в сфере экологического управления.

ГИС по функциональным возможностям классифицируются на несколько групп: первая группа – ГИС, рассчитанные на рабочие станции и сетевую эксплуатацию системы (например, Arc/Info); вторая группа – ГИС, предназначены для решения в первую очередь научных задач, но могут использоваться и в задачах управления (например, MapInfo, Atlas GIS и др.); третья группа – системы для домашнего и информационно-справочного использования.

Современный рынок программного обеспечения предоставляет огромный выбор приложений для тех или иных целей. Среди флагманов ГИС-приложений следует отметить такие продукты, как QuantumGIS, MapInfo, ArcGIS.

**Геоинформационные системы ArcGIS.** Геоинформационные системы ArcGIS получили широкое применение для оценки радиоактивного загрязнения почв, также широко используются в качестве технологии мониторинга загрязнений горных массивов [2].

Фирма ESRI (США) разработала целую линейку геоинформационных программ ArcGIS, среди которых выделяются ArcGIS ArcInfo и ArcGIS ArcView. Программа ArcGIS ArcInfo – это полнофункциональная ГИС, применяемая во многих направлениях:

- картографические и кадастровые работы;
- градостроительные и планировочные задачи;
- планирование землепользования и анализ пригодности земель;
- управление уличной сетью городских дорог;
- организация движения транспортных потоков и их оптимизация;
- исследования по вопросам социологии и демографии;
- общегеографические и топографические карты (аналоговые и цифровые), оценка природных ресурсов (земельные, лесные, водные и др.);
- управление линейными инженерными сооружениями (автомобильные и железные дороги, трубопроводы, линии электропередач, коммуникации и др.);
- мониторинг окружающей среды.

Система ArcGIS ArcInfo состоит из двух независимых программных пакетов ArcInfo Workstation и ArcInfo Desktop с набором дополнительных модулей. Другая программа ArcView (США) из линейки ArcGIS – это полнофункциональная геоинформационная программа, которая может использоваться или как самостоятельный настольный ГИС-пакет, или как клиентское приложение в системе ArcGIS. Область ее применения практически совпадает с областью применения ArcGIS ArcInfo. В этом продукте более подробно проработан функционал по отображению, управлению и анализу пространственных данных. Базовая модель ArcGIS ArcView состоит из трех основных приложений: ArcMap, ArcCatalog и ArcToolbox. Приложение ArcMap отвечает за отображение, редактирование и анализ данных, сохраненных в базе данных. В этом приложении можно создавать тематические карты. Основное назначение приложения ArcCatalog – это доступ к данным в БД и управление ими. Приложение ArcToolbox – это геосреда, которая располагает более 160 инструментами, которые помогают: выбирать необходимую картографическую проекцию, выполнять конвертацию пространственных данных, их редактирование, анализ и управление.

В программах группы ArcGIS базы данных имеют иерархическую структуру. Они используют языки высокого уровня: Python, VBScript, JavaScript и др. Программы семейства ArcGIS позволяют работать не только с отдельными листами карт, но и с серией карт, «сшивая» их друг на друга, и трансформируя в единую картографическую систему координат.

**Геоинформационная система MapInfo Professional.** MapInfo Professional предназначена для картирования мощности дозы и количественного анализа радиоактивных осадков [3].

ГИС MapInfo Professional, созданная компанией MapInfo (США), является универсальной картографической системой, т.е. не требует никаких дополнительных технических средств. Система поддерживает концепцию слоев, которая означает, что к каждому слою прикрепляется табличка в реляционной базе данных. MapInfo позволяет трансформировать из одной системы координат в другую, а также выполнять измерения длин линий, площадей полигонов, строить графики, диаграммы и гистограммы, по запросу пользователя производить выборку данных.

В MapInfo данные хранятся в табличном формате, который разработан специально для этой ГИС, но имеется возможность поддерживать такие форматы, как Microsoft Access, MS Excel, DBF и др. ГИС MapInfo позволяет выполнять экспорт-импорт данных в векторном, растровом и атрибутивном формате MIF/MID. Доступ к данным, расположенным в базе данных, осуществляется с помощью языка запросов SQL (Structured Query Language).

Система MapInfo имеет ряд отличительных возможностей:

- технология синхронного представления данных позволяет одновременно открывать несколько окон, содержащих одни и те же данные, при изменении информации в одном окне автоматически она изменяется в других окнах, которые содержат эту же информацию;
- позволяет обрабатывать несколько карт и после трансформации «сшивать» их в одну;
- дает возможность проводить анализ тематических карт с высоким уровнем визуализации, включая 3D-карты, а также тематические карты растровых поверхностей;
- имеется возможность прямого доступа к удаленным базам данных, таким как Oracle или SQL Server;
- позволяет составлять запросы любой сложности, включая сложные SQL-запросы из нескольких файлов;
- дает возможность совмещать картографическую подложку с созданным векторным файлом;
- наличие отдельного окна позволяет подготовить макет карты или текстовый отчет перед выводом на печать;
- позволяет изменять проекцию на любой стадии проектирования для корректного отображения на экране или оцифровки;
- создана функция по настройке параметров для совмещения узлов различных объектов;
- разработан универсальный набор инструментов рисования и редактирования с целью изменения вида карт [4].

**Геоинформационная система Quantum GIS.** ГИС Quantum GIS (QGIS) предназначена для вычисления дозы гамма-излучения по заданному маршруту на интерполированной карте значений мощности дозы. Вторич-



ной функцией системы является базовая статистика по данному маршруту. Вместе эти выходные значения помогают аварийным группам определить, какой маршрут будет лучшим и наиболее безопасным для мобильных групп радиационного контроля во время учений по ликвидации последствий ядерной катастрофы (или во время самой ядерной катастрофы).

Quantum GIS – это бесплатная кроссплатформенная геоинформационная система с открытым исходным кодом. Система разрабатывается и как настольная версия (QGIS Desktop), и как сервисное приложение (QGIS Server и QGIS Web-Client) для публикации в сети проектов на платформах MS Windows, Mac, Linux, BSD. В QGIS заложен принцип модульности, благодаря этому через меню «Управление модулями» загружают нужную информацию для решения разнообразных задач – от геокодирования до векторизации растровых файлов разной сложности с помощью большого количества геометрических элементов и интеграции с картографическими веб-сервисами. Данная ГИС обладает следующими возможностями: геокодировкой изображений с помощью модуля пространственной привязки, инструментами GPS для импорта и экспорта данных в разных форматах, визуализацией и редактированием данных OpenStreetMap (OSM), 3D-моделирование ландшафта.

Особенностью QGIS является геокодирование, т.е. описание с помощью атрибутов местоположения объекта (координаты, адрес и название места). С помощью геокодирования можно оперативно находить местоположение по любому из атрибутов. Данная ГИС позволяет выбрать систему координат для каждого слоя, т.е. в проекте может одновременно применяться несколько систем координат и они легко конвертируются из одной системы в другую.

К недостаткам QGIS можно отнести следующее: отсутствует библиотека типовых решений, несмотря на русифицированный интерфейс, существующая документация не полностью переведена на русский, отсутствуют классификаторы условных знаков для карт разных масштабов. Но, не смотря на существующие недостатки, данная система достаточно популярна [4].

**Геоинформационная система IndorMap.** ГИС IndorMap – это универсальная геоинформационная система настольного формата (Россия). Она включает в себя картографический функционал, совместимый с системами автоматизированного проектирования. В геоинформационной системе IndorMap используется принцип послойной организации пространственных данных. Она совместима с форматами ведущих ГИС, в том числе с ArcGIS и MapInfo.

Создание проекта в IndorMap начинается с загрузки карты в выбранной картографической системе координат, к которой подгружаются различные текстовые документы, OLE-документы, растровые файлы или данные из внешних баз. ГИС IndorMap позволяет подгружать большое количество векторных и растровых пространственных геоданных. Модульная структура данной системы дает возможность при создании проекта загружать различное количество пользовательских приложений.

Базовый функционал IndorMap состоит из следующих основных функций:

- обработка данных инженерно-геодезических изысканий;
- векторизация растровых картографических материалов;
- построение и анализ карт и схем;
- ввод, обработка, хранение, визуализация и экспорт атрибутивной информации;
- оформление тематических карт (планов, схем) и вывод на печать.

К основным недостаткам можно отнести: IndorMap работает только на платформе MS Windows, разработанный функционал пока уступает ГИС-программам, существующих на рынке, IndorMap разработан только в настольном формате.

Хотя в радиоэкологии ГИС-технологии и не получили широкого применения, существует множество вариантов их использования, например, в области радиационного мониторинга. Так, в рамках проекта «Анализ экологического риска в зоне отчуждения на белорусско-украинской границе» с помощью ГИС-приложения MapInfo было проведено картирование территории зоны отчуждения на границе Беларусь – Украина (2013–2015). В проекте приняли участие профильные организации Украины и нашей страны, в том числе Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, Институт радиологии, Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды.

Серьезное методологическое значение имело применение ГИС при определении зон радоноопасности Республики Беларусь (2016). Использование системы MapInfo позволило с высокой точностью построить карты территорий с повышенным содержанием радона. Для построения карты использовалась топооснова со слоями населенных пунктов, границами районов и областей, на которую наносились, согласно географическим координатам, значения объемной активности радона. Наиболее высокие концентрации радона наблюдаются в помещениях зданий всей Витебской, северо-восточной и центральной части Могилевской, части Гродненской и Минской областей, а также Минска [5].

В век цифровых технологий существует множество инструментов с открытым кодом, позволяющих пользователю создавать собственные системы и приложения. Среди них – MapWinGIS, MapAround и др. MapWinGIS – это бесплатная, основанная на языке программирования C++ географическая информационная система с открытым кодом. Библиотеки MapWinGis могут быть добавлены в Windows Form на языках Visual Basic, C++, Delphi или в другие языки, поддерживающие ActiveX. MapAround – это инструмент разработки картографических сервисов на платформе NET. MapAround обладает набором возможностей для построения тематических

карт (управление слоями, отображение, пространственный анализ и топология и т.д.), в том числе отвечающим нуждам радиозоологии.

Разумеется, использование ГИС в радиационных исследованиях не ограничивается приведенными выше примерами. Арсенал их применения гораздо шире. Тем не менее в общих чертах ГИС предназначены для сбора, хранения, анализа, просмотра графической визуализации пространственных объектов.

Таким образом, эффективность обследования радиационно-экологического состояния региона может быть существенно повышена при использовании ГИС-технологий. Главным достоинством ГИС является не только то, что они позволяют накапливать и отображать получаемые при обследовании данные, но и, главным образом, предоставляют возможность сопоставления и взаимного анализа различных информационных слоев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кащенко Н. А.* Геоинформационные системы / Н. А. Кащенко. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. Архитектур.-строит. ун-т, 2012. – 130 с.
2. MapServer, Web-сайт фирмы MapServer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mapserver.org/>. – Дата доступа : 25.02.2023.
3. QGIS, Web-сайт фирмы QGIS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qgis.org/ru/site/forusers/download.html/>. – Дата доступа : 25.02.2023.
4. MapInfo, Web-сайт фирмы MapInfo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mapinfo.ru/product/mapinfo-professional/>. – Дата доступа : 25.02.2023.
5. *Чунихин Л. А., Чеховский А. Л., Дроздов Д. Н.* Карта радоновой опасности территории Республики Беларусь // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 43–46.

## ВЛИЯНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ИСХОДОВ НА РЕЗУЛЬТАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕТОДОМ MDR INFLUENCE OF CLASSIFICATION OF OUTCOMES ON THE RESULT OF SIMULATION AND FORECASTING BY THE MDR METHOD

**В. А. Иванюкович<sup>1</sup>, Е. А. Николаенко<sup>1</sup>, С. Б. Мельнов<sup>2</sup>, Н. В. Жур<sup>3</sup>, Т. Л. Лебедь<sup>3</sup>**  
**U. Ivaniukovich<sup>1</sup>, K. Nikalayenka<sup>1</sup>, S. Melnov<sup>2</sup>, N. Zhyr<sup>3</sup>, T. Lebedz<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск,, Республика Беларусь  
[iva@iseu.by](mailto:iva@iseu.by)

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет физической культуры,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Полесский государственный университет  
г. Пинск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University of Physical Culture, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>3</sup>Polesky State University, Pinsk, the Republic of Belarus

Показано влияние правил классификации фенотипов на результат моделирования методом MDR. Проведено моделирование с целью установления связи генотипов спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта, с их достижениями. Исследования проводились на данных, содержащих 7 генов 94 испытуемых и 11 генов 74 испытуемых. Небольшое изменение правил классификации приводит к существенному изменению модели. При этом достигается высокая достоверность прогнозирования. Следовательно, ассоциировать построенные методом MDR модели с природой ген-генных взаимодействий не представляется возможным.

The influence of phenotype classification rules on the result of modeling by the MDR method is shown. Simulations were carried out in order to establish the connection between the genotypes of athletes involved in cyclic sports and their achievements. The studies were conducted on data containing 7 genes from 94 test subjects and 11 genes from 74 test subjects. A small change in the classification rules leads to a significant change in the model. At the same time, high reliability of forecasting is achieved. Therefore, it is not possible to associate the models constructed by the MDR method with the nature of gene-gene interactions.

*Ключевые слова:* Моделирование, метод снижения мультифакторной размерности, программное обеспечение, ген-генные взаимодействия, генотип, фенотип, спортсмены, статистический анализ.

*Keywords:* Modeling, Multifactor Dimensionality Reduction Method, software, gene-gene interactions, genotype, phenotype, athletes, statistical analysis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-301-305>

При изучении исходов, связанных с генетическими особенностями организма (заболеваний, неординарных возможностей и других), как правило, оцениваются межгенные взаимодействия и предпринимаются попытки обнаружить и доказать причинно-следственную связь между ними и исследуемой проблемой. При этом рассматривается большое количество генов или локусов, которые могут оказывать влияющее воздействие. Одним из популярных методов, который позволяет получать статистически обоснованные выводы о влиянии ген-генных взаимодействий на исследуемые фенотипы (исходы) является метод снижения мультифакторной размерности MDR (Multifactor Dimensionality Reduction). Версия MDR 3.0.2 программного обеспечения с открытым исходным кодом, реализующего этот метод, доступна на сайте <https://sourceforge.net/projects/mdr/>. Это непараметрический интеллектуальный метод обнаружения и описания нелинейных взаимодействий различной природы. По своей сути он является альтернативой логистической регрессии и может быть применен для анализа различных многофакторных процессов [1]. MDR позволяет уменьшить количество исследуемых параметров, оценивая уровни повышенного или пониженного рисков формирования фенотипов и преобразовывая два или более признака в один.

Большое количество публикаций посвящено исследованию ген-генных и генно-средовых взаимодействий, ассоциированных с заболеваниями. Эффективность данного метода в изучении генной природы заболеваний подтверждена многочисленными прикладными и модельными исследованиями [2]. Целью данной работы является изучение влияния классификации исходов на формирование модели, пригодной для прогнозирования развития изучаемого фенотипа. Были исследованы локусы генных карт спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта и достигших высоких результатов (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта, мастера спорта международного класса), и контрольной группы. Анализировались результаты измерений, содержащие 7 и 11 генов, формирующих генотип спортсмена. Предполагалось, что генотип ассоциируется с результатом, достигнутым спортсменом. Были предприняты попытки связать комбинации аллелей с перспективностью спортсмена, занимающегося конкретным видом спорта и, при необходимости, рекомендовать ему занятие другими видами спорта, в которых его результаты могут быть более высокими.

Предполагалось, что достигнутые спортсменом результаты ассоциированы с его генотипом, который определяет физические возможности человека. Классификация спортсменов на два класса основывалась на их достижениях, при этом группы формировались по-разному:

- а. кандидаты в мастера спорта – 0, мастера спорта и мастера спорта международного класса – 1;
- б. кандидаты в мастера спорта и мастера спорта – 0, мастера спорта международного класса – 1;
- с. контрольная группа – 0, спортсмены – 1.

Результаты моделирования оценивались по данным статистического анализа, реализованного в программе MDR. Для визуализации моделей использовались дендограммы и графы, показывающие характер и силу ген-генных или генно-средовых взаимодействий. Красные линии соответствуют выраженному синергизму, оранжевые – умеренному синергизму, коричневые – аддитивному взаимодействию, зеленые – умеренному антагонизму и синие – выраженному антагонизму взаимодействия. Сила взаимодействия описывается долей вклада в энтропию и направлением (знак + или –). Качество моделей оценивалось по статистическим показателям полного набора данных и по значениям согласованности перекрестных проверок (Cross Validation Consistency – CVC) по 10 в каждой модели.

Кроме прогнозирования перспективности спортсмена, представлялось интересным изучить устойчивость MDR-моделей к незначительным изменениям в формировании групп или, другими словами, классификации исходов в исследовании. В работе сравнивались модели ген-генных взаимодействий, которые ассоциировались с физическими возможностями спортсмена в конкретном виде спорта. На рис. 1 показаны дендограмма и граф ген-генных взаимодействий в модели, построенной методом MDR по 7 генам из генных карт 94 спортсменов мужского и женского пола. В одну группу (класс 0) вошли кандидаты в мастера спорта и мастера спорта (54 спортсмена), во вторую (класс 1) – мастера спорта международного класса (40 спортсменов).

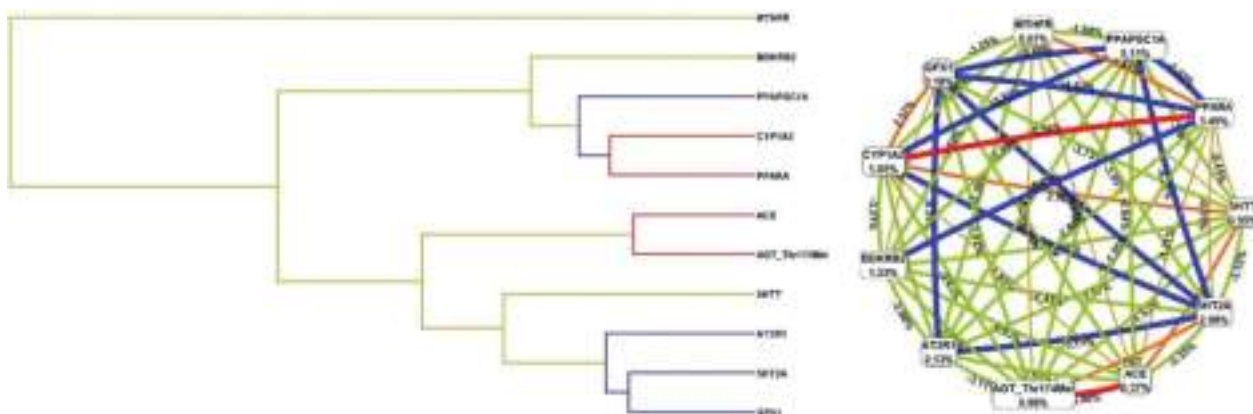


Рисунок 1 – Дендограмма и граф ген-генных взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – кандидаты в мастера спорта и мастера спорта, 1 – мастера спорта международного класса (7 генов, 94 измерения). Характер ген-генного взаимодействия при формировании фенотипа, влияющего на физические возможности спортсмена, показан цветом линий: красный соответствует выраженному синергизму, оранжевый – умеренному синергизму, коричневый – аддитивному взаимодействию, зеленый – умеренному антагонизму и синий – выраженному антагонизму. Сила и направленность ген-генного взаимодействия показаны в долях энтропии

Определены наборы аллелей для моделей, построенных на различных количествах ген, которые дают достоверные прогнозы. Построенные на одном и двух генах модели достоверно не прогнозируют класс. Лучшая модель на трех атрибутах построена на генах 5HTT, PPARGC1A, PPARG и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 10,9$  ( $p=0,001$ ), Карра = 0,84. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – SS, GlySer, GC и класс 1 – LL, GlyGly, GG.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах ACE, AT2R1, GPX1, PPARG и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 7,54$  ( $p=0,006$ ), Карра = 0,81. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – ID, AA, CT, GC и класс 1 – DD, AC, CC, GG.

Результаты, полученные на моделях с 5–7 генами, не позволили проводить прогнозирование.

На рис. 2 показаны дендограмма и граф ген-генных взаимодействий, построенные на той же группе испытуемых с таким же набором генов, но классифицированных по-другому. В одну группу (класс 0) вошли кандидаты в мастера спорта (29 спортсменов), во вторую (класс 1) – мастера спорта и мастера спорта международного класса (75 спортсменов).

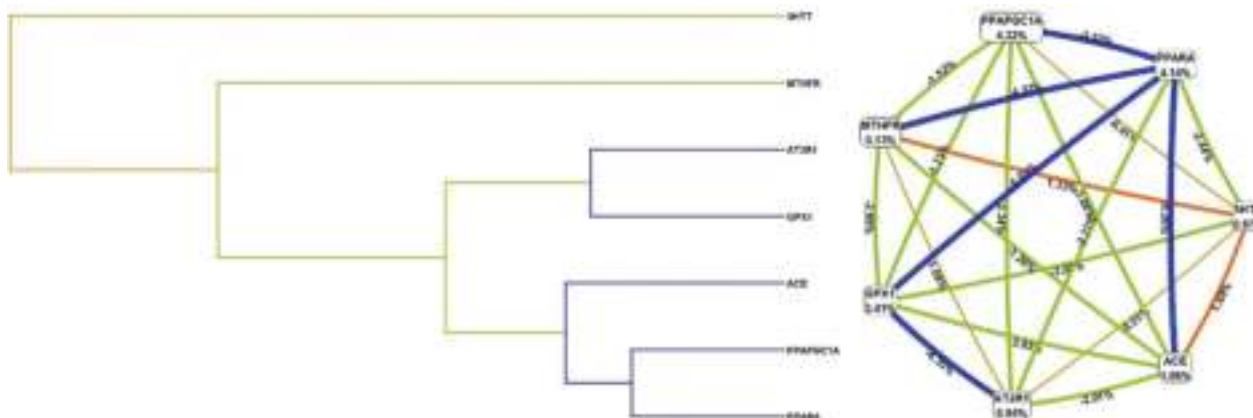


Рисунок 2 – Дендограмма и граф ген-генных взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – кандидаты в мастера спорта, 1 – мастера спорта и мастера спорта международного класса (7 генов, 94 измерения). Цвет линий соответствует цветам на рис. 1

Лучшая модель на трех атрибутах построена на генах 5HTT, ACE, PPARG и характеризуется отношением шансов  $OR=60,0$  (доверительный интервал 3,03, 1185),  $\chi^2 = 11,42$  ( $p=0,0007$ ), Карра = 0,74. Для предсказания класса могут быть использованы три комбинации аллелей: класс 0 – LL, II, GG и класс 1 – LS, DD, GG и LL, DD, GG.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах ACE, AT2R1, GPX1, PPARG и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 11,73$  ( $p=0,006$ ), Карра = 0,84. Для предсказания класса так же могут быть использованы три комбинации аллелей: класс 0 – LL, II, AC, GG и класс 1 – LL, DD, AC, GG и LL, DD, AA, GG.

Результаты, полученные на остальных моделях, как и в предыдущем случае, не позволили проводить прогнозирование.



Подобные результаты получены и при моделировании на основе 11 генов из генных карт 74 спортсменов, занимающихся тем же видом спорта. Данные, представленные на рис. 3, соответствуют классификации, когда в одну группу отобраны кандидаты в мастера спорта и мастера спорта (41 спортсмен, класс 0), во вторую (класс 1) – мастера спорта международного класса (33 спортсмена). При таком наборе данных метод успешно проводит классификацию на модели, включающей два гена при отношении шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 10,5$  ( $p=0,0012$ ), Карра = 0,86. Модель построена на генах ACE, AGT\_Thr174Met. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – II, CC и класс 1 – II, CT.

Лучшая модель на трех атрибутах построена на генах 5HT2A, ACE, AGT\_Thr174Met и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 15,28$  ( $p<0,0001$ ), Карра = 0,82. Для предсказания класса могут быть использованы четыре комбинации аллелей: класс 0 – TT, ID, CC и TT, II, CC, класс 1 – TC, ID, CC и TC, II, CT.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах AGT\_Thr174Met, BDKRB2, CYP1A2, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 14,19$  ( $p=0,0002$ ), Карра = 0,86. Для предсказания класса могут быть использованы четыре комбинации аллелей: класс 0 – CC, +9/-9, AC, GG и CC, +9/-9, AA, GC и CC, +9/+9, AA, GG, класс 1 – CC, +9/-9, CC, GG.

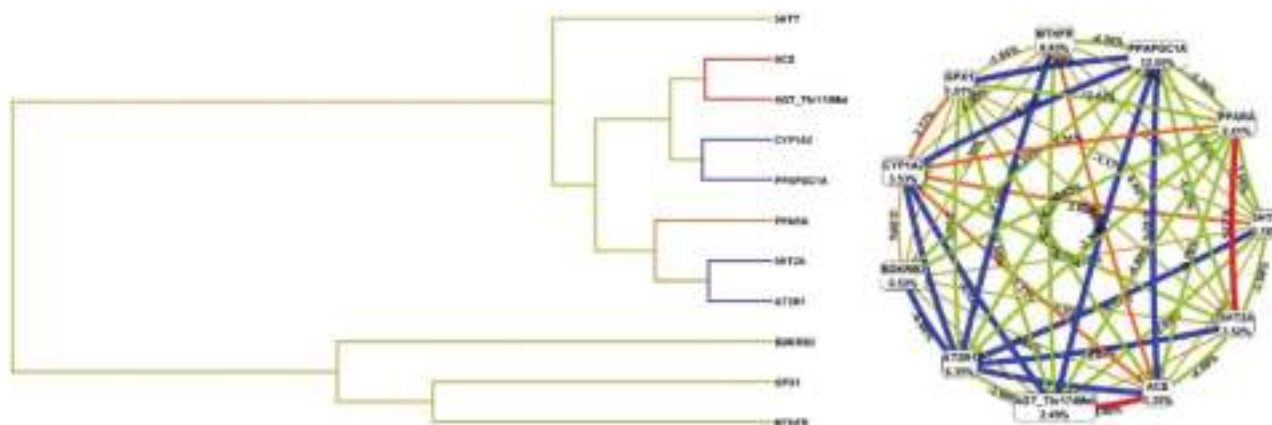


Рисунок 3 – Дендограмма и граф ген-генных взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – кандидаты в мастера спорта и мастера спорта, 1 – мастера спорта международного класса (11 генов, 74 измерения). Цвет линий соответствует цветам на рис. 1

Лучшая модель на пяти атрибутах построена на генах 5HTT, 5HT2A, GPX1, MTHFR, PPAPGC1A и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 10,0$  ( $p=0,0016$ ), Карра = 1,0. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – SS, TT, CT, CT, GlySer, класс 1 – LL, TC, CT, CT, GlySer.

Лучшая модель на пяти атрибутах построена на генах 5HTT, 5HT2A, GPX1, MTHFR, PPAPGC1A и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 10,0$  ( $p=0,0016$ ), Карра = 1,0. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – SS, TT, CT, CT, GlySer, класс 1 – LL, TC, CT, CT, GlySer.

Лучшая модель на шести атрибутах построена на генах 5HT2A, BDKRB2, CYP1A2, MTHFR, PPAPGC1A, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 6,67$  ( $p=0,0098$ ), Карра = 0,8. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – TC, +9/-9, AC, CT, GlySer, GG, класс 1 – TC, +9/-9, AA, CT, GlySer, GG.

Результаты, полученные на моделях с большим количеством генов, не позволили проводить прогнозирование.

Результаты моделирования, проведенного на той же группе испытуемых с таким же набором генов, но классифицированных по-другому, представлены на рис. 4. В одну группу (класс 0) вошли кандидаты в мастера спорта (22 спортсмена), во вторую (класс 1) – мастера спорта и мастера спорта международного класса (52 спортсмена).

Лучшая модель, построенная на двух генах CYP1A2, PPARA характеризуется параметрами: отношение шансов  $OR=55,0$  (доверительный интервал 2,83, 1068,42),  $\chi^2 = 10,125$  ( $p=0,0015$ ), Карра = 0,75. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – AA, GC и класс 1 – CC, GG.

Лучшая модель на трех атрибутах построена на генах 5HTT, 5HT2A, AGT\_Thr174Met и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 13,84$  ( $p=0,0002$ ), Карра = 0,73. Для предсказания класса могут быть использованы три комбинации аллелей: класс 0 – LL, TT, CC, класс 1 – LL, TC, CC и LL, TT, CT.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах 5HTT, 5HT2A, AGT\_Thr174Met, AT2R1 и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 16,62$  ( $p<0,0001$ ), Карра = 0,86. Для предсказания класса могут быть использованы пять комбинаций аллелей: класс 0 – LL, TT, CC, AC и четыре комбинации для класса 1 – (SS, TC, CC, AC), (SS, TT, CC, AA), (LL, TC, CC, AC) и (LL, TC, CC, AA).

Лучшая модель на пяти атрибутах построена на генах ACE, BDKRB2, CYP1A2, PPAPGC1A, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 6,67$  ( $p=0,0098$ ), Карра = 0,8. Для предсказания класса

могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – DD, +9/-9, AC, Gly/Ser, GG, класс 1 – DD, +9/-9, AA, Gly/Ser, GG.

Лучшая модель на шести атрибутах построена на генах 5HTT, ACE, AGT\_Thr174Met, BDKRB2, PPAPGC1A, PPARGA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 6,67$  ( $p=0,0098$ ), Кappa = 0,8. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – SS, DD, CC, +9/-9, Gly/Ser, GG, класс 1 – LL, DD, CC, +9/-9, Gly/Ser, GG.

Результаты, полученные на моделях с большим количеством генов, не позволили проводить прогнозирование.

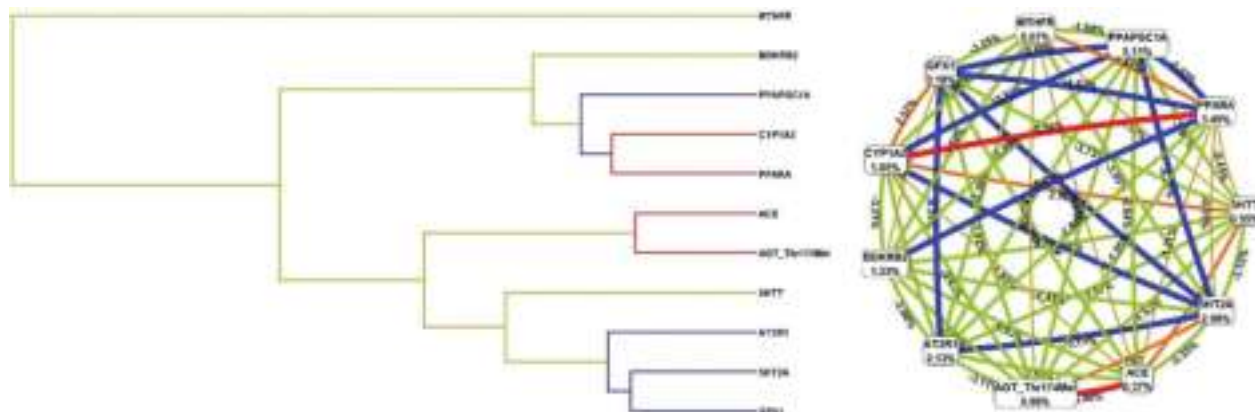


Рисунок 4 – Дендограмма и граф ген-генных взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – кандидаты в мастера спорта, 1 – мастера спорта и мастера спорта международного класса (11 генов, 74 измерения). Цвет линий соответствует цветам на рис. 1

Полученные результаты наглядно демонстрируют, что незначительные изменения в классификации исходов (фенотипов) приводят к существенным изменениям статистической модели прогнозирования, создаваемой методом MDR. По-разному выглядят не только дендограмма и граф ген-генных взаимодействий, но и наборы генов в моделях, и комбинации аллелей, которые могут быть использованы для прогнозирования. При этом различные модели позволяют получать прогноз с высокой точностью, что подтверждается статистическими характеристиками. Однако ассоциировать построенные в нашем исследовании методом MDR модели с природой ген-генных взаимодействий не представляется корректным. Возможно, модели будут соответствовать природе ген-генных взаимодействий при условии выбора не только размера и корректного ранжирования групп, но и подбора комплекса генов, определяющих работу одной цепи биохимических реакций (например, РААС, нейромедиаторные, углеводный, липидный обмен и т.д.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Multifactor Dimensionality Reduction [Электронный ресурс] 24.12.2014. – Режим доступа: <https://sourceforge.net/projects/mdr/>. – Дата доступа: 27.02.2023.
2. Пономарева И.В. Использование метода Multifactor Dimensionality Reduction (MDR) и его модификаций для анализа ген-генных и генно-средовых взаимодействий при генетико-эпидемиологических исследованиях (обзор). / И.В. Пономарева // Научные результаты биомедицинских исследований. 2019. Т. 5, № 1. С. 4-21. DOI: 10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-1, URL: <http://rrmedicine.ru/journal/article/1605>.

# **АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ДОСТУПА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ УРОВНЯХ**

## **ARCHITECTURE AND FUNCTIONALITY OF A WEB-ORIENTED INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF GENERAL ACCESS FOR A COMPREHENSIVE STUDY OF THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL FACTORS AT VARIOUS REGIONAL LEVELS**

**Б. А. Тонконогов<sup>1,2</sup>, В. В. Журавков<sup>1,2</sup>, М. Г. Герменчук<sup>1,2</sup>**  
***B. A. Tonkonogov<sup>1,2</sup>, V. V. Zhuravkov<sup>1,2</sup>, M. G. Germenchuk<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт  
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь*

*boristonkonogov@iseu.com, zhvl@mail.ru, margermen@gmail.com*

*<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, the Republic of Belarus*

Рассмотрены архитектура и функциональность Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях.

The architecture and functionality of a Web-oriented information and analytical system of general access for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors at various regional levels are considered.

*Ключевые слова:* архитектура, функциональность, информационно-аналитическая система.

*Keywords:* architecture, functionality, information and analytical system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-306-310>

**Введение.** Деятельность человека постоянно связана с накоплением информации об окружающей среде, ее отбором и хранением. Информационные системы, основное назначение которых – информационное обеспечение пользователя, то есть предоставление ему необходимых сведений по конкретной проблеме или вопросу, помогают человеку решать задачи быстрее и качественнее. При этом одни и те же данные могут использоваться при решении разных задач. Любая информационная система предназначена для решения некоторого класса задач и включает в себя как хранилище данных, так и средства реализации различных процедур, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и преобразование пространственно-распределенных данных.

Информационно-аналитические системы рассчитаны, как правило, на установку и подключение большого количества автоматизированных рабочих мест (клиентов), располагающих собственными базами (источниками) данных и средствами ввода / вывода результатов. Специалисты в области экологии на автоматизированном рабочем месте на основе пространственно-привязанной информации могут решать следующие задачи:

- 1) анализировать изменения окружающей среды под влиянием природных и техногенных факторов;
- 2) давать заключения о рациональном использовании и охране атмосферных, земельных, водных, минеральных и энергетических ресурсов;
- 3) давать заключения о снижении ущерба и предотвращении техногенных катастроф;
- 4) обеспечивать безопасное проживание людей, охрану их здоровья и так далее.

При оценке различных ситуаций, связанных с решением экологических проблем, информационная подготовка занимает достаточно много времени, а информационно-аналитические системы в состоянии быстро предоставить информацию и обеспечить нахождение эффективных методов урегулирования. В условиях возникшей ситуации решения не могут быть смоделированы в явном виде, однако основой для их принятия может служить большой объем разнообразной информации, хранимой и передаваемой интегрированной базой данных. По предоставленным результатам управленческий персонал на основе своего опыта и интуиции может принять конкретные решения.

Разработана новая архитектура Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных

уровнях, реализующая методы и модели для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале и анализа антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях и базирующаяся на геоинформационных технологиях. Разработанная архитектура является основой для создания прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях.

Разработка указанной системы является актуальной научной и практической задачей, решение которой создаст условия для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале и анализа антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях с использованием геоинформационных технологий. Это повысит комфортность проживания граждан Республики Беларусь и поспособствует поддержке принятия соответствующих управленческих решений в области освоения и повышения эффективности использования различных видов природных ресурсов и мониторинга состояния компонентов окружающей среды в целях устойчивого развития на территориальных единицах различного уровня. Результаты могут быть использованы в интересах учреждений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, в частности для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях и принятия соответствующих управленческих решений. Сфера и масштабы ожидаемого применения результатов могут быть распространены на всю территорию Республики Беларусь.

**Характеристика и назначение разрабатываемой информационно-аналитической системы.** Основные возможности, предоставляемые пользователям разрабатываемой информационно-аналитической системы:

- работа с интерактивной электронной картой (манипулирование слоями, перемещение и масштабирование, удаление и добавление объектов и так далее);
- вывод в заданном виде любых объектов территории и объектов определенного класса с соответствующей атрибутивной информацией о них;
- обработка информации статистическими методами и отображение результатов такого анализа непосредственным наложением на карту или в другой форме визуализации (таблицы, графические зависимости, гистограммы и так далее).

В рамках разработки архитектуры Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях определены общий архитектурный стиль и основные архитектурные решения, связанные с организацией совокупности элементов и компонентов и функционированием программных модулей системы. Описаны основные роли и характеристики структурных элементов и возможные виды взаимодействий между ними (интерфейсы).

**Архитектура разрабатываемой информационно-аналитической системы.** Архитектура информационно-аналитической системы предполагает:

- технология обработки данных – локальное (централизованное) взаимодействие с интегрированной базой данных, то есть все данные будут храниться на одном сервере под управлением одной системы управления базами данных, а не распределенным образом, так как многие проекты распределенных баз данных характеризуются определенными проблемами в вопросах стандартизации информационных потоков и типов и представления данных и метаданных и совместимости отдельных информационных систем и проектов, созданных разными организациями с применением различного программного обеспечения;
- способ доступа к данным – локальный и удаленный (сетевой) доступ с разграничением прав пользователей и поддержкой клиент-серверных технологий.

Также архитектура системы предполагает модульную декомпозицию. В этой связи целесообразно разделение интерфейсной части системы и части, отвечающей за работу с данными. Тип архитектуры предполагает то, что ее элементы реализуют поддержку объектов специализированной серверной базы данных, работу аналитических функциональных программных модулей, представление и визуализацию данных, а также взаимодействие с удаленными пользователями. В частности, программные модули реализуют методики комплексной оценки и анализа влияния антропогенных и природных факторов с учетом угроз и рисков и последствий природных и антропогенных загрязнителей для различных организмов и экосистем на различных региональных уровнях и оптимального использования потенциала природных ресурсов и общедоступного мониторинга состояния компонентов окружающей среды, направленные на повышение комфортности проживания граждан и принятия соответствующих управленческих решений.

Архитектуре свойственна гибкость, масштабируемость и открытость для расширения и реализации дополнительной функциональности, в частности разработки специальных алгоритмов и программных модулей взаимодействия с базой данных и графическим Web-ориентированным пользовательским интерфейсом, предоставляющим возможность оптимально, быстро и удобно работать с картографической информацией посредством использования соответствующих технологий и алгоритмов. Это позволит реализовать соответствующие своему специфическому назначению и оптимальные по функциональности клиентскую и серверную части системы, основными особенностями которых являются возможность поддержки динамически изменяющегося содержимого клиентских Web-страниц без их перезагрузки, что значительно сокращает время обновления страниц и ускоряет работу пользователей, реализацию программного пользовательского интерфейса на стороне Web-сервера и создание программного уровня доступа к информации, хранящейся в базе данных, для использования в указанном



интерфейсе. Реализация в соответствии с разработанной архитектурой алгоритмов работы аналитических методов и моделей послужит основой для разработки пилотного проекта указанной прикладной системы (рис. 1).

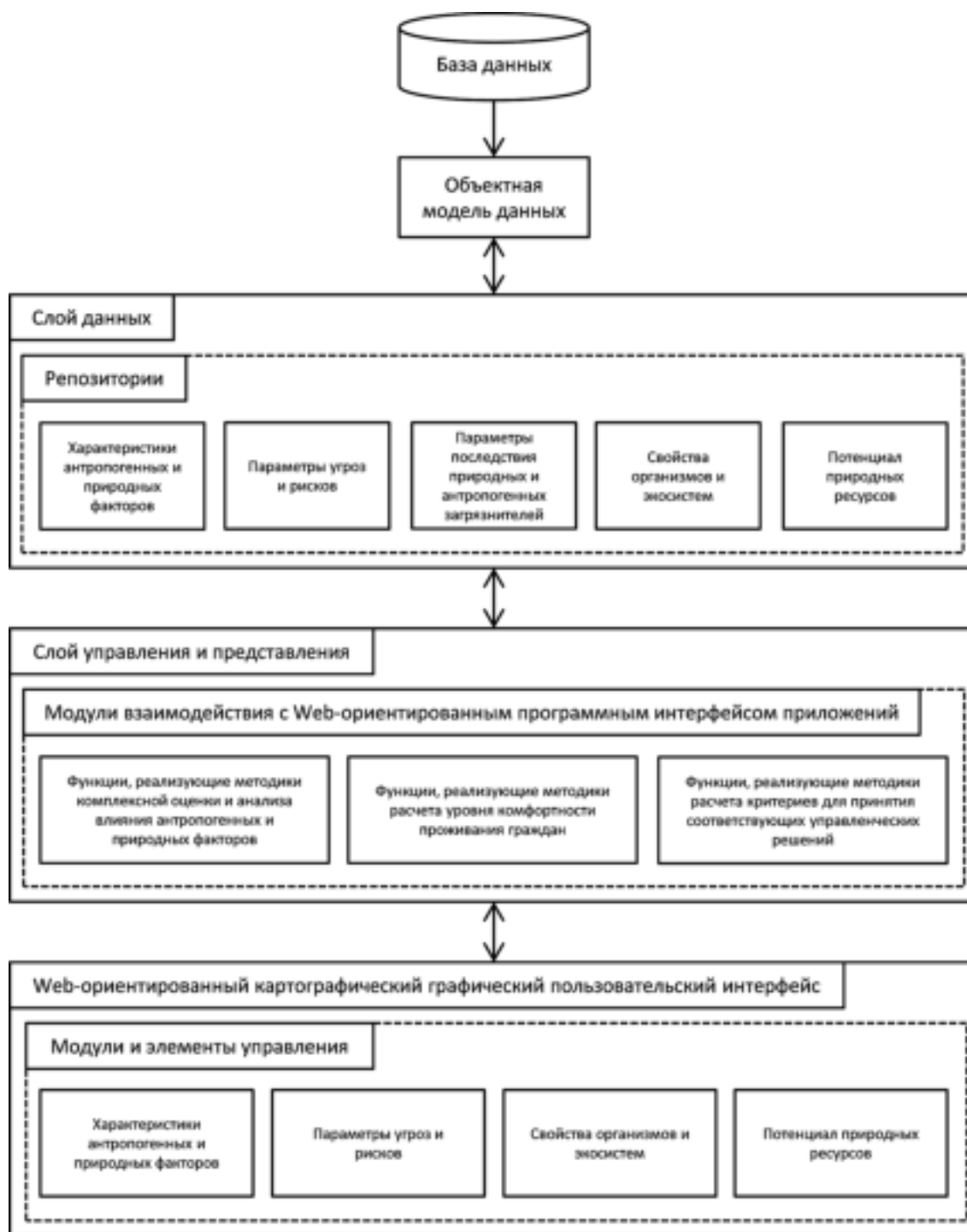


Рисунок 1 – Общая архитектура Web-ориентированной информационно-аналитической системы

**Основные архитектурные компоненты и функциональные программные модули информационно-аналитической системы.** Проектирование прототипа информационно-аналитической системы предполагало то, что она будет включать в себя следующие основные архитектурные компоненты и функциональные программные модули (подсистемы):

- 1) разграничения прав пользователей;
- 2) взаимодействия с базой данных;
- 3) сбора и обработки пространственных данных;
- 4) хранения и защиты пространственных данных;
- 5) аналитической обработки данных;
- 6) представления и визуализации данных;
- 7) импорта / экспорта, конвертации и парсинга данных и другие.

Указанный набор программного обеспечения позволит на основе полученной информации:

- классифицировать и кластеризовать соответствующие данные для дальнейшего создания различного картографического содержимого в виде различных картографических слоев с различной визуализацией содержимого разных типов данных;

- реализовать дополнительные сервисы для обработки и представления данных;
- производить аналитические (статистические) вычисления различного рода для дальнейшего использования, в частности, в составе картографического содержимого.

Для процессов визуализации и мониторинга экологических процессов (выбросов и сбросов загрязняющих веществ) могут выполняться процедуры компьютерного моделирования (аналитических расчетов) с использованием стационарных (для предприятий) и мобильных (для транспорта) точек. В процессе моделирования необходимо собрать и обработать первичные пространственные данные с учетом определенных атрибутов и параметров, а затем применить к ним определенные технологии программной визуализации:

- данные о стационарных источниках загрязнения, полученные от пунктов различных измерений (мониторинга) выбросов и сбросов загрязняющих веществ предприятиями (визуализация – круги определенного цвета, значения радиусов которых пропорциональны уровню (степени) загрязнения в результате);

- данные о загрязняющих веществах предприятий (визуализация – цветовой градиент (дискретный набор цветов) в соответствии с уровнем (степенью) загрязнения);

- данные с GPS-треков от подвижного транспорта и других мобильных источников загрязнения (визуализация – закрашенные линии (траектории) выбросов цветами в соответствии с уровнем (степенью) загрязнения) и т. д..

В проектируемом программном продукте при автоматизированных расчетах можно также учитывать поправочные коэффициенты, связанные со значениями силы и направления ветра, а также характеристиками рельефа местности (ландшафта).

В результате обработки указанных данных получают комплексные (агрегированные) данные, на основе которых рассчитывается совокупность выбросов и сбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и воду как для точечных объектов, так и на определенной территории.

Программный модуль для разграничения прав пользователей предназначен для санкционированного доступа к информационному ресурсу. Программные механизмы разграничения прав доступа к информационному ресурсу основаны на алгоритмах и принципах авторизации и аутентификации пользователей, администрирования содержимого серверной базы данных и защиты от несанкционированного доступа к этому содержимому.

Пользователи проходят автоматическую аутентификацию в системе для возможности дальнейших ввода и манипуляции данными, которые осуществляются через базу данных с использованием определенной регистрационной информации (логина и пароля), разграничивающей права пользователей по функциональным признакам. Таким образом, пользователи в соответствии со своими правами могут формировать различные запросы, выполнять визуализацию данных и производить прочие манипуляции в среде информационного ресурса.

**Проектирование прототипа Web-платформы представления экологических данных.** На рис. 2 представлен пример графического пользовательского интерфейса и визуализации прототипа разрабатываемой информационно-аналитической системы с результатами автоматизированного анализа антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях с использованием инструментария географических информационных систем и специализированных программных интерфейсов приложений, которые будут использованы в дальнейших разработках.



Рисунок 2 – Пример графического пользовательского интерфейса и визуализации прототипа информационно-аналитической системы

## **Заключение.**

Таким образом:

1. Разработана новая архитектура Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях, реализующая методы и модели для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале и анализа антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях и базирующаяся на геоинформационных технологиях.
2. Выполнено проектирование прототипа Web-платформы представления экологических данных с использованием современных инструментов географических информационных систем.
3. Реализованы условия для создания пилотного проекта прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях [1–4].

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Журавков В. В., Тонконогов Б. А., Шалькевич П. К. Разработка веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа данных системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2022: environmental problems of the XXI century: материалы 22-й Международной научной конференции, 19 - 20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – 432 с. – С. 360–363.
2. Журавков В. В., Урбанович Н. Д. Использование инновационных программных средств и ГИС-технологий для сопровождения системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на примере г. Орша // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2022: environmental problems of the XXI century: материалы 22-й Международной научной конференции, 19 - 20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – 432 с. – С. 363–367.
3. Zhuravkov V. V. Development of a Web-oriented system for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors on the example of the Orshan region of the Republic of Belarus // Материалы II Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы науки и техники», ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», 19–21 мая 2022 г. – Сарапул, 2022. – С. 137–142.
4. Журавков В. В. Разработка Web-ориентированной системы общего доступа для изучения влияния антропогенных и природных факторов на примере г. Орша Республики Беларусь // XVII Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» (Экология-2022). 3–4 июня 2022, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». – Уфа, 2022. – С. 148–152.

## **МОДЕЛЬ ДАННЫХ WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ДОСТУПА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ УРОВНЯХ**

## **DATA MODEL OF A WEB-ORIENTED INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF GENERAL ACCESS FOR A COMPREHENSIVE STUDY OF THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL FACTORS AT VARIOUS REGIONAL LEVELS**

**Б. А. Тонконогов<sup>1,2</sup>, В. В. Журавков<sup>1,2</sup>, М. Г. Герменчук<sup>1,2</sup>**  
**B. A. Tonkonogov<sup>1,2</sup>, V. V. Zhuravkov<sup>1,2</sup>, M. G. Germenchuk<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь

boristonkonogov@iseu.com, zhvl@mail.ru, margermen@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, the Republic of Belarus

Рассмотрена модель данных Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях.

The data model of a Web-oriented information and analytical system of general access for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors at various regional levels is considered.

*Ключевые слова:* модель данных, информационно-аналитическая система, антропогенные и природные факторы.

*Keywords:* data model, information and analytical system, anthropogenic and natural factors.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-310-315>

**Введение.** Накопление информации об окружающей среде, ее отбор и хранение являются постоянными составляющими деятельности человека. Информационные системы, основное назначение которых – информационное обеспечение пользователя, то есть предоставление ему необходимых сведений по конкретной проблеме или вопросу, помогают человеку решать задачи быстрее и качественнее. При этом одни и те же данные могут использоваться при решении разных задач. Любая информационная система предназначена для решения некоторого класса задач и включает в себя как хранилище данных, так и средства реализации различных процедур, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и преобразование пространственно-распределенных данных.

Как правило, информационно-аналитические системы рассчитаны на установку и подключение большого количества автоматизированных рабочих мест (клиентов), располагающих собственными базами (источниками) данных и средствами ввода / вывода результатов. Специалисты в области экологии на автоматизированном рабочем месте на основе пространственно-привязанной информации могут решать следующие задачи:

- 1) анализировать изменения окружающей среды под влиянием природных и техногенных факторов;
- 2) давать заключения о рациональном использовании и охране атмосферных, земельных, водных, минеральных и энергетических ресурсов;
- 3) давать заключения о снижении ущерба и предотвращении техногенных катастроф;
- 4) обеспечивать безопасное проживание людей, охрану их здоровья и так далее.

Информационно-аналитические системы в состоянии быстро предоставить информацию и обеспечить нахождение эффективных методов урегулирования при оценке различных ситуаций, связанных с решением экологических проблем, когда информационная подготовка занимает достаточно много времени. В условиях возникшей ситуации решения не могут быть смоделированы в явном виде, однако основой для их принятия может служить большой объем разнообразной информации, хранимой и передаваемой интегрированной базой данных. По предоставленным результатам управленческий персонал на основе своего опыта и интуиции может принять конкретные решения.

Разработана новая оптимизированная реляционная структура (модель) данных, состоящая из таблиц, включающих поля для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях. Разработанная структура данных является основой для создания прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях.

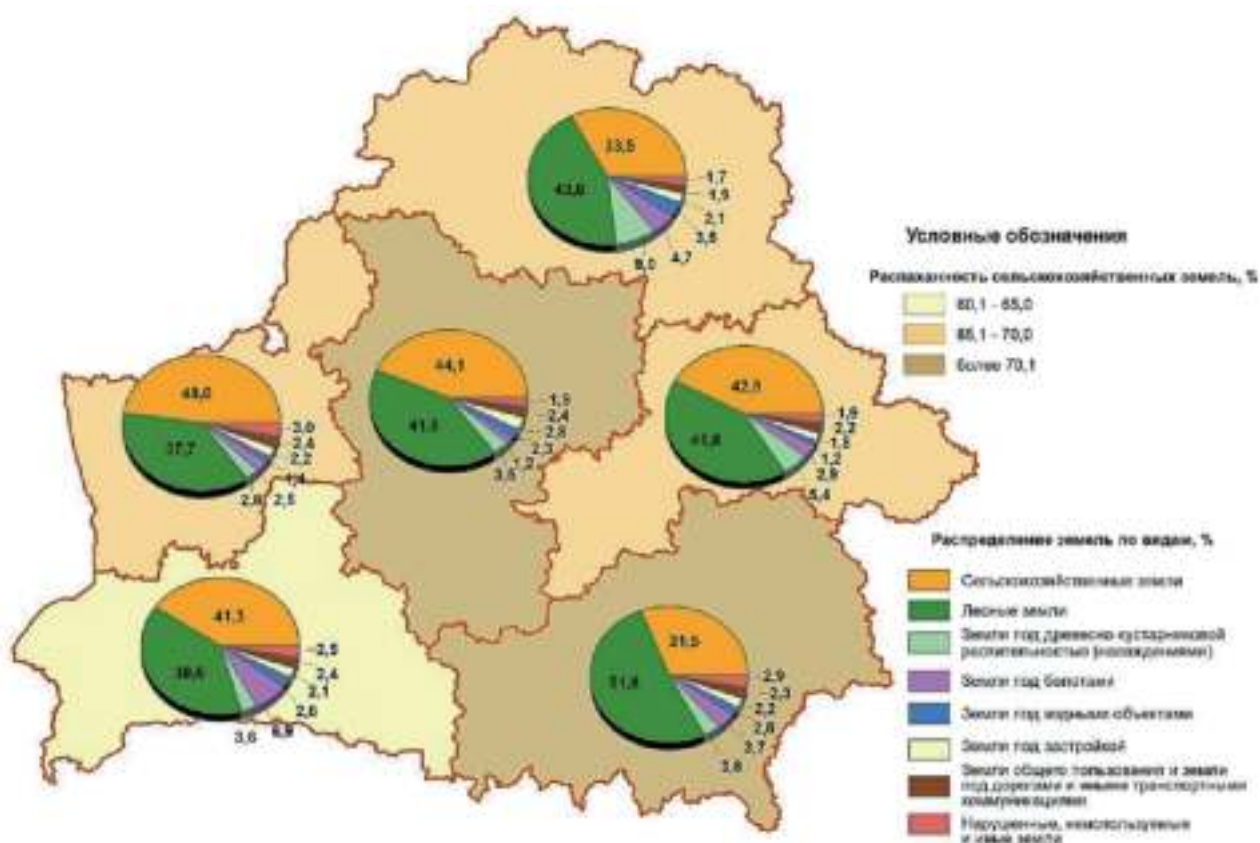
Следует отметить, что разработка указанной системы является актуальной научной и практической задачей, решение которой создаст условия для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале и анализа антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях с использованием геоинформационных технологий. Это повысит комфортность проживания граждан Республики Беларусь и поспособствует поддержке принятия соответствующих управленческих решений в области освоения и повышения эффективности использования различных видов природных ресурсов и мониторинга состояния компонентов окружающей среды в целях устойчивого развития на территориальных единицах различного уровня. Результаты могут быть использованы в интересах учреждений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, в частности для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях и принятия соответствующих управленческих решений. Сфера и масштабы ожидаемого применения результатов могут быть распространены на всю территорию Республики Беларусь.

Примеры представления различных данных в известных информационных системах представлены на рис. 1.





a)



б)



в)

Рисунок 1 – Визуализация данных согласно информации: а) информационной системы EarthTime (<https://earthtime.org/>) об индексе качества воздуха;

б) Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (<https://nsmos.by/>) о структуре земель по видам в разрезе областей Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2022; в) Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (<https://rad.org.by/>) об индексе качества атмосферного воздуха с учетом его влияния на здоровье населения

#### **Характеристика и назначение данных разрабатываемой информационно-аналитической системы.**

В основные задачи разрабатываемой Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях входят предоставление (визуализация) и анализ (обработка) во времени данных о результатах:

- воздействия человеческой деятельности на живые организмы;
- воздействия на живые организмы через изменение людьми их среды обитания;
- естественного изменения различных качественных и количественных природных величин и характеристик.

Указанные особенности системы направлены на повышение уровня информированности населения о различных аспектах состояния окружающей среды и возможности принятия своевременных управленческих решений на различных региональных (территориальных) уровнях.

В этой связи база данных, входящая в состав разрабатываемой информационно-аналитической системы, должна содержать или иметь возможность манипулировать с различными данными о:

- различных географических (природных) объектах;
- результатах наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, земель и радиационного фона;
- результатах локального мониторинга, предоставляемых природопользователями;
- ресурсном потенциале и так далее.

**Оптимизированная реляционная структура (модель) данных разрабатываемой информационно-аналитической системы.** По структуре разрабатываемая база данных может быть как реляционного, так и нереляционного типа, что имеет свои достоинства и недостатки. Однако для лучшего понимания и большей степени оптимизации и представления данных и их моделей, несмотря на более медленное взаимодействие с программными модулями взаимодействия с данными, лучше подойдет реляционная структура (модель) данных. Эта структура будет состоять из таблиц, включающих поля для хранения различных параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, и в дальнейшем подлежит нормализации и оптимизации.

Возможность анализа изменений данных во времени (ретроспективы) предполагает хранение в указанной базе данных определенной информации (в том числе пространственно-распределенной в соответствии с географическими координатами) в зависимости от времени, либо использование специальных программно реализованных статистических (прогностических) или иных аппроксимирующих математических моделей.

При хранении данных в структуре (модели) базы данных должна быть предусмотрена возможность соответствия данных различным региональным уровням (хозяйства, населенные пункты, районы, области и так далее).

Данные, хранящиеся в проектируемой базе данных подразделяются на:

- географические – описывают объект путем указания его расположения относительно других географических объектов;

- пространственные – описывают объект путем указания его географических координат (ширины и долготы) и другой атрибутивной информации.

Оптимизированная (нормализованная) реляционная структура (модель) данных включает в себя различные объекты базы данных в виде таблиц, содержащие поля с определенными типами данных для хранения параметров и информации о пространственных объектах и ресурсном потенциале, и связей (отношений) между этими таблицами и полями (рис. 2).



Рисунок 2 – Оптимизированная реляционная структура данных для информационно-аналитической системы (начало)

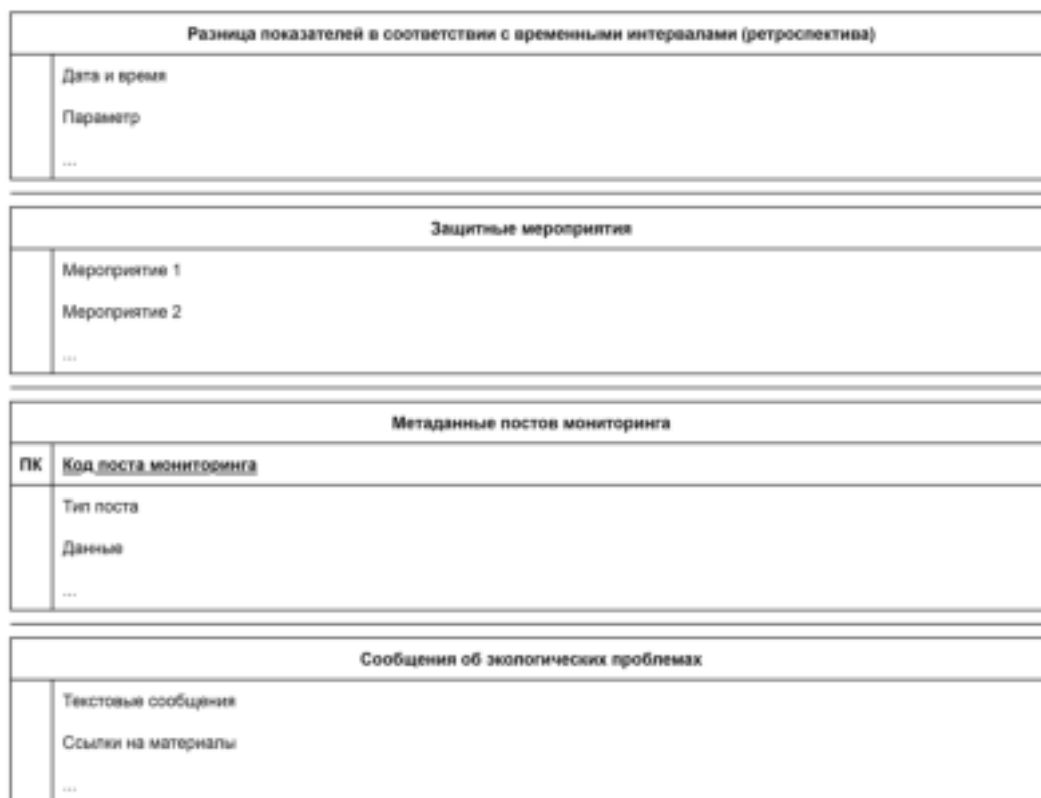


Рисунок 2 – Оптимизированная реляционная структура данных для информационно-аналитической системы (продолжение)

**Заключение.** Таким образом, разработана новая оптимизированная реляционная структура (модель) данных, состоящая из таблиц, включающих поля для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале [1–4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Журавков В. В., Тонконогов Б. А., Шалькевич П. К. Разработка веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа данных системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2022: environmental problems of the XXI century: материалы 22-й Международной научной конференции, 19 - 20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – 432 с. – С. 360–363.
2. Журавков В. В., Урбанович Н. Д. Использование инновационных программных средств и ГИС-технологий для сопровождения системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на примере г. Орша // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2022: environmental problems of the XXI century: материалы 22-й Международной научной конференции, 19 - 20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – 432 с. – С. 363–367.
3. Zhuravkov V. V. Development of a Web-oriented system for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors on the example of the Orshan region of the Republic of Belarus // Материалы II Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы науки и техники», ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», 19–21 мая 2022 г. – Сарапул, 2022. – С. 137–142.
4. Журавков В. В. Разработка Web-ориентированной системы общего доступа для изучения влияния антропогенных и природных факторов на примере г. Орша Республики Беларусь // XVII Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» (Экология-2022). 3 - 4 июня 2022, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». – Уфа, 2022. – С. 148–152.



**MONITORING OF BALTATA RIVER POLLUTION BY SOIL EROSION  
AS A PART OF A NEW BLACK SEA PROJECT IN MOLDOVA**  
**МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ БЭЛЦАТА ОТ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ  
В РАМКАХ НОВОГО ПРОЕКТА ЧЁРНОГО МОРЯ В МОЛДОВЕ**

***E. Kuharuk<sup>1</sup>, Iu. Corman<sup>2</sup>***

***Е. Кухарук<sup>1</sup>, Ю. Корман<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>АО "Ecostrategii", Chisinau, Moldova

*ecotiras@mail.ru*

<sup>2</sup>Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova

*iu.corman1958@gmail.com*

<sup>1</sup>АО "Ecostrategii", Кишинёв, Молдова

<sup>2</sup>Технический Университет Молдовы, Кишинёв, Молдова

The content of the regional project "Protecting streams for a clean Black Sea by reducing sediment and litter pollution with joint innovative monitoring and control tools and nature-based practices" (short title: Protect Streams\_4Sea) started in 2020 is presented. This two-year project is currently executed within the framework of the EU Black Sea Regional Cooperation Programme (2014-2020) by five partners from Greece (leader is International Hellenic University from Drama, project manager is Dr. George Zaimes, associate professor), Armenia, Moldova, Romania and Turkey. The Baltata River (a right-bank of Dniester River tributary) basin is selected as a pilot area for the project tasks realization in Moldova. The goal of this study is to evaluate the non-point sources of pollutions in the Dniester basin as a part of measures of its protection and ecological rehabilitation and as a result to mitigate the basin's contribution to the Black Sea general littering. The experts on hydrology, climatology, soil science, botany, GIS, etc. are participating in this project's implementation.

Представлено содержание стартовавшего в 2020 году регионального проекта «Защита рек для чистого Черного моря за счет сокращения загрязнения наносами и мусором с помощью совместных инновационных инструментов мониторинга и контроля и природоохранных практик» (сокращенное название: Protect Streams\_4Sea). Этот двухлетний проект реализуется в настоящее время в рамках Программы Черноморского регионального сотрудничества ЕС (2014-2020 гг.) пятью партнерами из Греции (руководитель – Международный Греческий Университет Драмы, руководитель проекта – д-р Джордж Займес, доцент), Армении, Молдовы, Румынии и Турции. Бассейн реки Балтата (правобережный приток Днестра) выбран в качестве пилотного участка для реализации задач проекта в Молдове. Целью данного исследования является оценка источников загрязнения в бассейне Днестра в рамках мероприятий по его охране и экологической реабилитации для снижения вклада бассейна в общее загрязнение Черного моря. В реализации этого проекта принимают участие специалисты в области гидрологии, климатологии, почвоведения, ботаники, ГИС и др.

*Keywords:* Erosion, soil protection, pollution, drone shooting, digital map.

*Ключевые слова:* Эрозия, защита почв, загрязнение, съёмка дроном, электронная карта.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-316-320>

**Introduction.** Any monitoring should take into consideration the main natural and anthropogenic factors. At present, the current catchment areas in Moldova are not always in good conditions, and an environmental situation in river basins raises concern about their future as of the clean drinking water sources. A substandard ecological situation in the Baltata basin is centered around such issues as water biota's degradation and water sources pollution, deposition of silt due to soils water erosion on adjacent cover areas. All these factors cause a necessity of this basin protection and ecological rehabilitation.

**Study area and methods. Study area.** Baltata River is a right tributary of the Dniester River, with the length exceeding 27 km [2]. It basin comprises an area of more than 165 square kilometers and consists of various types of land-use: agricultural lands, forests, pasture lands, meadows, perennial plantings and built-up areas (Fig. 1). The Baltata basin is one of many other where the basic water resources of Moldova are formed. The well-being of the water courses conditions, the population living conditions and many aquatic and near-water biocenoses depend on its basin ecological state. The anthropogenic factor has changed the natural watershed of the river, and now it is almost completely accumulated in artificial ponds. Water for the needs of the population is taken out only from these reservoirs, and the main riverbed has turned into a shallow watercourse. Under the influence of erosion processes in a territory with a heterogeneous relief, its soil fertility decreases that leads to a crop loss by 40–70 % [3]. Moreover, in a case of water erosion from 10 to 30 % of applied fertilizers and pesticides are washed off the slopes together with soil.

Thus, without achieving a good environmental situation in the Baltata River basin, as in other Dniester River sub-basins in Moldova and Ukraine, it is impossible to achieve well-being of the north-west Black Sea area. It is also necessary to pay particular attention to the soil and water pollution from unauthorized dumps and household waste, as well as from water erosion of soils, since the relief here varies from 0° to 17°; the most common - from 2° to 5°.

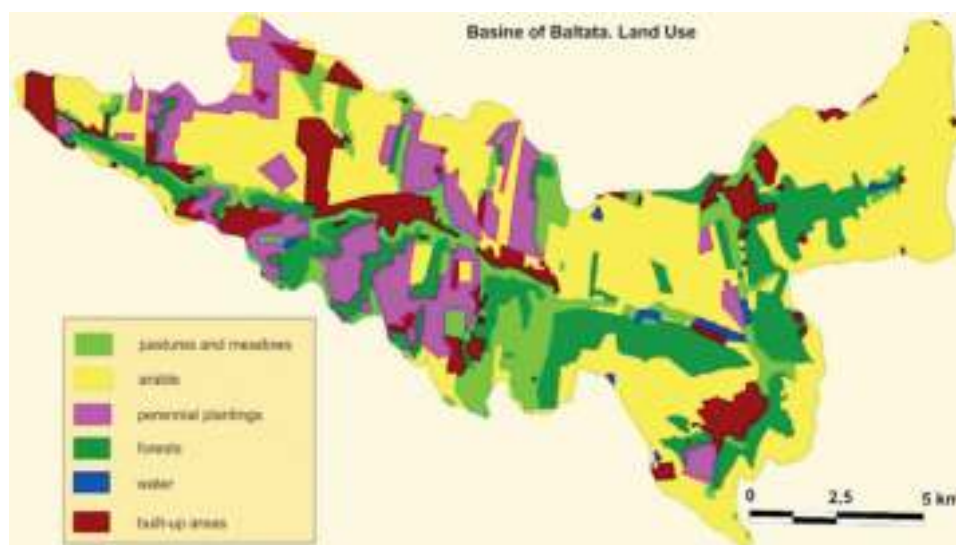


Figure 1 – Land use in Baltata River basin

Table 1

Land Use in Baltata River Basin

| Land Use             | Area, km <sup>2</sup> |
|----------------------|-----------------------|
| Pastures and meadows | 76.99                 |
| Arable               | 19.01                 |
| Perennial plantings  | 22.94                 |
| Forests              | 28.90                 |
| Surface water        | 1.07                  |
| Built-up areas       | 17.58                 |
| Total                | 166.49                |

**The project content.** The Protect-Streams-4-Sea BSB963 project focuses on a joint environmental monitoring of nonpoint source pollutants and litter that end up in the Black Sea. This is a main priority of the Black Sea Programme, because if the enclosed Black Sea is polluted, it is essentially very difficult to de-pollute it. Most cleaning efforts are focusing on the sea itself or along the coastal areas. The watersheds that end in the Black Sea have not been focal points earlier despite they provide many pollutants and litter. A similar example is the Mississippi Basin that transports pollutants, which created a dead zone in the Mexico Gulf. The idea of this project is to stop the nonpoint sources of pollutant and litter reaching the streams and rivers, and thus to prevent their entry the Black Sea. In a case of success, this can maintain cost-effectively a clean Black Sea and will benefit to welfare of the entire region.

**Methods.** This task will be achieved by using innovative methods (e.g., fingerprinting) to correlate landscape position with the pollutants in the stream water and riverbed. Soil samples will be taken along stream banks, soil surfaces and in-stream. By this way, the origins and contributions of sediment and other nonpoint source pollutants to the stream water and riverbed will be estimated. The pollutant origins could be the stream banks (e.g. steep, non-vegetated area, etc.) or soil surface with different land covers (e.g. burnt areas, flooded areas, forests, degraded or specific crops). In addition, traditional (erosion pins, runoff plots) and new innovative methods (remote sensing indices and drones) will be used for the pollutant estimations. Hydrologic models will be applied to simulate the pollutants at a watershed scale based on the project data from the fingerprinting method as well as from the stream bank and bed, and soil surface plots. A Multi-Criteria Decision Analysis and a Decision Support System will be used to find the “hot spots” and to recommend the best management practices in each pilot area. The recommended practices will be nature-based and applicable to the entire region. The study of the soil cover of Baltata River’s basin, soil samples collection for the following laboratory analysis will be executed according to the European practices [1].

In our work we use resources FAO Soils Portal – where are national and FAO legacy maps (scan), also soil profiles and reports, soil degradation, management, biodiversity (<http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-data-bases/en/>). Another source of data is GloSIS Global (Beta) from the FAO. Data Hub for Global Soil Information System

(GloSIS) country-driven global datasets. Includes Global Soil Organic Carbon (GSOS) map, C sequestration potential, Harmonized World Soil Database (HWSD) derivatives (soil proprieties, soil quality indicators, digital Soil map of the World). [4]

For examples southern region of the Republic of Moldova we used a drone to study the soils of this area.

Phantom 4 Pro drone flight and photography.

The flight was carried out with the following parameters:

- Flight altitude from the ground - 100m;
- Image resolution - 20 megapixels;
- Drone speed - 10 m / s;
- Image overlap 80%;
- Image capture angle - 90%

After the flight, 434 pictures were taken.

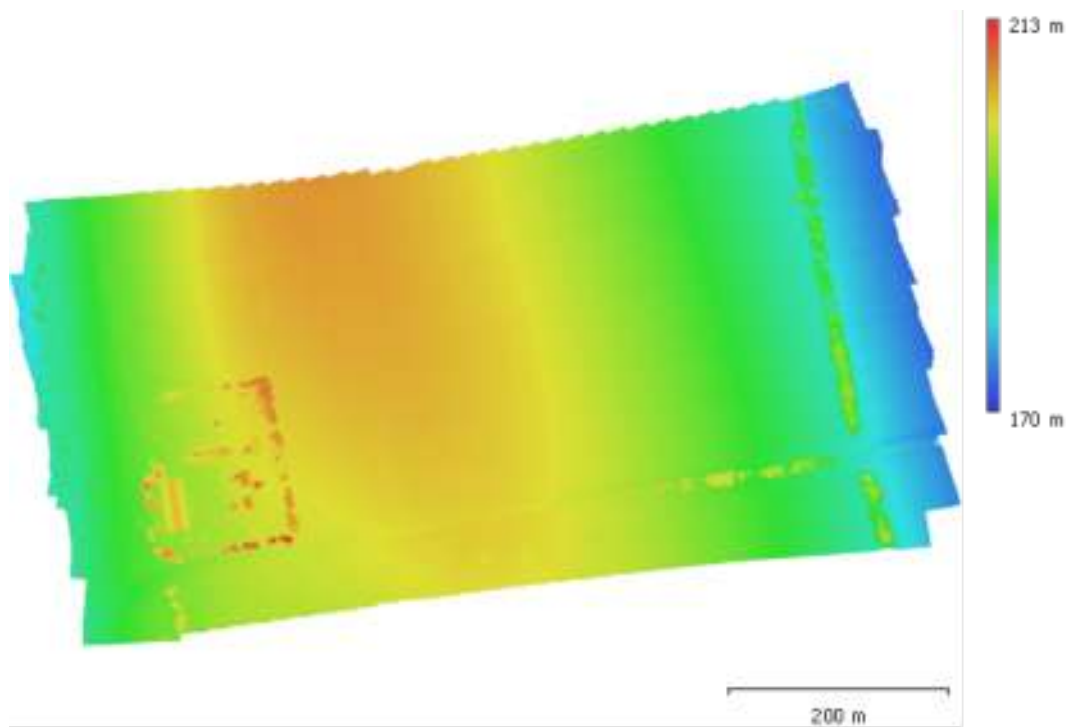


*Figure 2 – Digital elevation map*

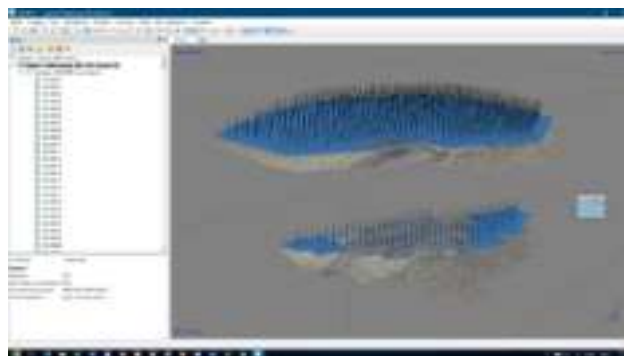


*Figure 3 – Drone images*

After completion of the field work, cameral work is carried out. Office calculations are performed using specialized software Agisoft Metashape Professional.

The tone and color of the upper horizons of soils that are not fixed by vegetation (for example, on arable land) are determined by certain soil characteristics, such as the degree of erosion, the degree of moisture, and the humus content.

Drones cannot determine information about the soil, therefore, detailed field studies of soils with the determination of the physicochemical characteristics of soils in the laboratory are necessary.

As a result of deciphering images from drones, we get the structure of the relief, the geological structure of the area, the result of human economic activity.

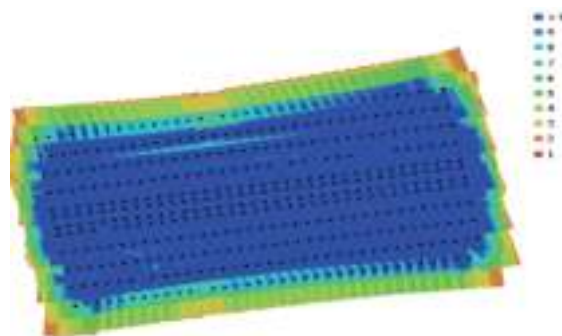


Figure 4 – Camera position and image overlay

Table 2

Drone processing data

|                     |                       |                     |           |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------|
| Number of images:   | 434                   | Camera stops:       | 434       |
| Flight altitude:    | 92.9 m                | Equality points:    | 425,333   |
| Resolution at soil: | 2.36 cm/pix           | Projection:         | 1,673,567 |
| Coverage area:      | 0.421 km <sup>2</sup> | Reprojection error: | 0.532 pix |

| Camera's Model | Resolution   | Focal distance | Pixel's size      | Precalibrated |
|----------------|--------------|----------------|-------------------|---------------|
| FC6310 (8.8mm) | 5472<br>3648 | 8.8 mm         | 2.41 x 2.41<br>µm | Nu            |

To develop an erodibility map, based on measurements with the help of a drone, the direction of the flow of water flow was determined.

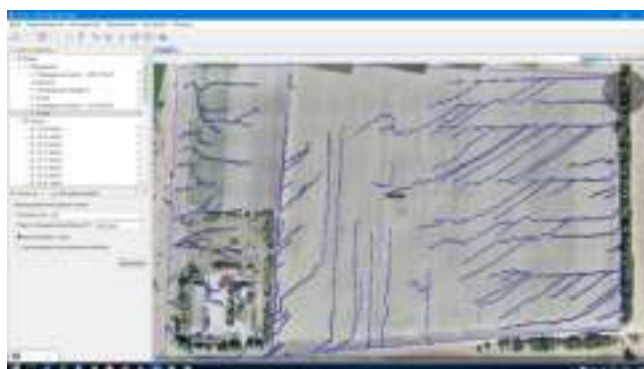


Figure 5 – Water flow direction model

This material is used to develop anti-erosion measures in the area under study, to prevent pollution of the river basin.

Thus, drone work complements field research and provides reliable information about water runoff as a result of erosion processes.

At the final part of the project, in the pilot area water bodies there will be developed and/or tested innovative tools/ machines: 4 litter traps (in Armenia, Greece, Moldova and Turkey) and one skimmer vessel (in Romania) to collect litter and other pollutants to test them in different environments, representative for the region. This should help their adoption by all Black Sea countries and lead to a joint monitoring program for inland nonpoint source pollutants and litter. Finally, numerous and diverse communication activities will help to reach all target groups and lead to the adoption of these joint monitoring methods and tools in the regions. The project also includes the educational and public awareness components to share the knowledge on the main sources of river and Black Sea pollution and ways of its minimization.

## REFERENCES

1. Soil science: Methods & applications D. L. Rowell, Longman Scientific & Technical, Longman Group UK Ltd, Harlow, Essex, UK (co-published in the USA with John Wiley & Sons Inc. New York), 1994, x + 350 pp
2. Коробов Р., Тромбицкий И. Водная безопасность в условиях изменения климата. – Кишинёв: Eco-TIRAS, 2017. – 88 p. ISBN 978-9975-66-597-1. [http://eco-tiras.org/books/Vodnaia%20bezopasnosti\\_WEB.pdf](http://eco-tiras.org/books/Vodnaia%20bezopasnosti_WEB.pdf)
3. Улучшение плодородия эродированных почв в бассейне реки Днестр для развития органического сельского хозяйства / Отчёт / Европейский Союз, ПРООН // Кухарук Е., Лях Т., Русу А., Гуманюк А., Градинар Д.,



## **ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ И ВОДАХ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**

## **GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR MONITORING THE MIGRATION OF POLLUTANTS IN SOILS AND WATERS IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT**

**В. В. Плесканев<sup>1,2</sup>, П. К. Шалькевич<sup>1,2</sup>, Л. А. Липницкий<sup>1,2</sup>**

**V. V. Pleskanev<sup>1,2</sup>, P. K. Shalkevich<sup>1,2</sup>, L. A. Lipnitsky<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь  
shalkevich@iseu.by*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, the Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus*

Рассмотрены географические информационные системы (ГИС) для мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах. Представлен обзор архитектуры создания программного продукта ГИС: их интерфейса, функций, преимуществ и ограничений. Сформулированы условия, при которых возможно решение экологических проблем для будущих исследований в этой области.

Geographic information systems (GIS) for monitoring the migration of pollutants in soils and waters are considered. An overview of the architecture for creating a GIS software product: their interface, functions, advantages and limitations is presented. The conditions under which it is possible to solve environmental problems for future research in this area are formulated.

*Ключевые слова:* геоинформационные системы, ГИС, мониторинг окружающей среды, миграция загрязняющих веществ.

*Keywords:* geographic information systems, GIS, environmental monitoring, contaminants migration.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-320-324>

В современном мире геоинформационные системы используются человеком во многих отраслях: сельское хозяйство, городское планирование, здравоохранение, коммунальные услуги, недвижимость, управление природными ресурсами и чрезвычайными ситуациями, управление окружающей средой. Это обусловлено тем, что ГИС – это универсальная технология, которая широко используется и постоянно развивается, и ее потенциальные области применения расширяются по мере появления новых источников данных [1].

Загрязнение почв и вод является глобальной экологической проблемой и может иметь серьезные последствия для здоровья человека и окружающей среды. ГИС являются эффективным инструментом мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах. Они позволяют визуализировать пространственное распределение загрязняющих веществ, выявлять потенциальные очаги загрязнения и разрабатывать эффективные меры по предотвращению загрязнения [2].

На сегодняшний день на рынке доступен широкий выбор программных продуктов ГИС, каждый из которых имеет свои сильные стороны и возможности. Большинство этих продуктов использует множество методов из различных дисциплин: картографические методы, дистанционное зондирование, геодезические методы, пространственный анализ, методы управления базами данных и визуализация данных и т.д. [3]. Наиболее распространенные ГИС:

- ArcGIS: разработанная компанией Esri, это одна из наиболее широко используемых программ ГИС в мире. Он известен своим всеобъемлющим набором инструментов и возможностей для анализа пространственных данных.

- QGIS: бесплатная ГИС-программа с открытым исходным кодом. Она имеет удобный интерфейс и может работать с различными форматами данных.

- Google Планета Земля: веб-платформа, которая позволяет пользователям исследовать и визуализировать поверхность Земли в 3D. Она также имеет некоторые возможности ГИС, такие как возможность импорта и отображения пространственных данных.

- MapInfo: программа ГИС, которая широко используется для картографирования и пространственного анализа в коммерческом и государственном секторах.

- GRASS GIS: бесплатное программное обеспечение ГИС с открытым исходным кодом, известное своими мощными инструментами для геопространственного анализа и моделирования.

- GeoServer: серверное программное обеспечение с открытым исходным кодом, которое позволяет пользователям обмениваться и публиковать геопространственные данные в Интернете.

- OpenLayers: библиотека JavaScript с открытым исходным кодом, которая позволяет разработчикам создавать интерактивные карты и веб-приложения ГИС.

- PostGIS: расширитель пространственной базы данных с открытым исходным кодом для PostgreSQL, который добавляет поддержку географических объектов, позволяя пользователям хранить пространственные данные и управлять ими в базе данных.

Выбор того, какую ГИС стоит применять на практике зависит от конкретных задач пользователя.

ГИС могут быть классифицированы по определенным критериям:

1) По функциональности:

- Настольные ГИС: это традиционное программное обеспечение ГИС, которое работает на настольных компьютерах и предлагает широкий спектр функций, включая управление данными, пространственный анализ, картографирование и визуализацию.

- Веб-ГИС: это ГИС, которые доступны через веб-браузеры и предлагают функции, аналогичные настольным ГИС. Они часто включают картографические веб-сервисы и обеспечивают совместную работу и обмен данными.

- Мобильные ГИС: это ГИС, предназначенные для использования на мобильных устройствах, таких как смартфоны и планшеты. Они часто включают функции GPS и могут использоваться для сбора полевых данных и составления карт в реальном времени.

2) На основе программной архитектуры:

- Автономные ГИС: это ГИС, которые устанавливаются на один компьютер и работают локально. Они часто требуют значительных вычислительных мощностей и памяти.

- Клиент-серверные ГИС: это ГИС, основанные на архитектуре клиент-сервер. ГИС-клиент устанавливается на отдельные компьютеры, а ГИС-сервер занимается хранением и обработкой данных. Это обеспечивает большую масштабируемость и упрощает обмен данными.

- Облачные ГИС: это ГИС, которые размещены в облаке и доступны через веб-браузеры. Они обеспечивают масштабируемость и гибкость, а также возможность доступа к данным из любого места, где есть подключение к Интернету.

3) По применению:

- Экологические ГИС: это ГИС, которые используются для управления и анализа данных об окружающей среде, таких как качество воды, загрязнение воздуха и землепользование.

- Транспортная ГИС: это ГИС, которые используются для управления и анализа транспортных данных, таких как схемы движения, дорожные сети и системы общественного транспорта.

- Городские ГИС: это ГИС, которые используются для управления и анализа городских данных, таких как контуры зданий, зонирование и демография.

Для построения архитектуры программного продукта ГИС для мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах, необходимо рассмотреть несколько этапов [2]:

1) Собрать данные о загрязняющих веществах, их источниках и потенциальных путях миграции. Сюда можно отнести сбор данных о пробах почвы и воды из разных мест, а также данные о местном климате, топографии и землепользовании.

2) Подготовка данных для обработки: преобразовать формат данных, стандартизировать единицы и создать метаданные для описания данных.

3) Импортировать и интегрировать собранные данные в программное обеспечение ГИС: создать слои для различных типов данных (таких как вода, почва и климат) и создать пространственные отношения между ними.

4) Выполнить анализ данных, чтобы выявить закономерности, тенденции и потенциальные очаги загрязнения. Это может включать создание буферов вокруг источников загрязнения, расчет концентраций загрязняющих веществ и выявление областей, подверженных риску загрязнения.

5) Создание визуализаций и отчетов для передачи результатов анализа, которые включают создание карт, диаграмм и графиков, показывающих пространственное распределение загрязняющих веществ и потенциальные риски для здоровья человека и окружающей среды.

6) Обновление данных.

**Технологии разработки ГИС мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах.** Разработка ГИС осуществляется при помощи программных технологий, обеспечивающих возможности управления,

анализа и визуализации геопространственных данных. Языки программирования Python, R и Java используются для разработки приложений и инструментов ГИС. Картографические веб-технологии: служба веб-карт (WMS – Web Map Service), служба веб-объектов (WFS – Web Feature Service) и служба веб-покрытия (WCS – Web Coverage Service) используют для предоставления геопространственных данных через Интернет. Платформы облачных вычислений, такие как Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure и Google Cloud Platform, используются для хранения и обработки больших объемов геопространственных данных, а также для запуска приложений и инструментов ГИС. А такие технологии, как глобальная система позиционирования (GPS) и мобильные картографические приложения, могут использоваться для сбора геопространственных данных в полевых условиях.

Выбор системы управления базами данных (СУБД) для ГИС мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах зависит от различных факторов, таких как размер и сложность данных, требуемая производительность системы и доступные ресурсы. Геоданные могут храниться в базе данных, базе геоданных, шейп-файле, растровом изображении, в таблицах DBF или электронных таблицах Microsoft Excel. Для проектов такого рода идеальна СУБД, поддерживающая пространственные данные и способная обрабатывать большие объемы данных и сложные запросы. Некоторые из широко используемых СУБД для ГИС, которые поддерживают пространственные данные, используют технологии PostgreSQL/PostGIS, Oracle Spatial и Microsoft SQL Server.

PostgreSQL/PostGIS – это СУБД с открытым исходным кодом, которая широко используется в сообществе ГИС и обеспечивает поддержку типов и функций пространственных данных. Это хороший вариант для небольших и средних проектов с ограниченным бюджетом.

Oracle Spatial – это коммерческая СУБД, обеспечивающая расширенную поддержку пространственных данных и обычно используемая в крупномасштабных ГИС-приложениях. Это хороший вариант для проектов со значительными ресурсами и сложными требованиями к данным.

Microsoft SQL Server – еще одна коммерческая СУБД, поддерживающая пространственные данные и часто используемая в ГИС-приложениях, интегрированных с другими технологиями Microsoft. Это хороший вариант для проектов, требующих интеграции с технологиями Microsoft.

Почвенный, водный и воздушный пути миграции загрязняющих окружающую среду веществ являются основными, однако физические процессы, которые лежат в основе распространения загрязняющих веществ по воздуху принципиально отличаются от физических процессов, которые лежат в основе распространения загрязняющих веществ в почве и воде. Это объясняется не только особенностями сред распространения, но и спецификой самих загрязняющих веществ. Миграция загрязняющих веществ в почве и воде, как правило, взаимосвязана, что объясняется влиянием влаги на миграционные процессы в почве, а также неоднородностью окружающей среды. При этом, существуют критерии, по которым системы мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах различают от систем мониторинга атмосферного воздуха:

1) Методы отбора проб: методы отбора проб, используемые для мониторинга загрязняющих веществ в почве и воде, отличаются от тех, которые используются для мониторинга воздуха. Например, пробы почвы можно брать с помощью устройства для отбора проб почвы, тогда как пробы воды можно брать с помощью специального пробоотборника для воды. Напротив, пробы воздуха можно брать с помощью насоса, который прокачивает воздух через фильтр.

2) Аналитические методы. Аналитические методы, используемые для мониторинга загрязняющих веществ в почве и воде, также отличаются от тех, которые используются для мониторинга воздуха. Например, образцы почвы и воды могут быть проанализированы с использованием таких методов, как газовая хроматография или жидкостная хроматография, тогда как образцы воздуха могут быть проанализированы с использованием таких методов, как масс-спектрометрия.

3) Пространственное разрешение: пространственное разрешение систем мониторинга почвы и воды, как правило, намного выше, чем для воздуха. Это связано с тем, что загрязняющие вещества в почве и воде имеют тенденцию быть локализованными, в то время как загрязняющие вещества в воздухе могут быть более рассеянными. Поэтому системы мониторинга почвы и воды могут быть разработаны для сбора данных в очень мелком масштабе, например, на уровне отдельных точек отбора проб.

4) Временное разрешение: временное разрешение систем мониторинга почвы и воды также может отличаться от такового для воздуха. Например, системам мониторинга воды может потребоваться собирать данные за более длительный период времени, например, за несколько дней или недель, для учета колебаний расхода воды и уровня загрязняющих веществ. Напротив, системы мониторинга воздуха могут быть предназначены для сбора данных за более короткие периоды времени, например, за несколько часов или дней.

5) Факторы окружающей среды: наконец, системы мониторинга почвы и воды могут нуждаться в учете факторов окружающей среды, таких как pH, температура и микробная активность, которые могут влиять на поведение и перенос загрязняющих веществ в этих средах. Напротив, в системах мониторинга воздуха может потребоваться учет таких факторов, как направление и скорость ветра, которые могут влиять на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере.

Мониторинг почв и вод подразумевает обработку данных, поступающих в базы данных тем или иным способом. При этом, для сбора формирования данных используются следующие технологии:

1) Технологии сбора данных для мониторинга почв:

- Датчики влажности почвы: эти датчики используются для измерения количества влаги в почве, что может быть важно для понимания переноса загрязняющих веществ через почву.

- Датчики почвенных газов: эти датчики используются для измерения концентрации газов, таких как метан или углекислый газ, в почве. Эта информация может быть использована для понимания биогеохимических процессов, происходящих в почве, и того, как они могут влиять на перенос загрязняющих веществ.

- Оборудование для отбора проб почвы: Оборудование для отбора проб почвы, такое как пробоотборники, можно использовать для отбора проб почвы на различной глубине. Эти образцы могут быть проанализированы в лаборатории для определения концентрации различных загрязняющих веществ в почве.

- Спектроскопические методы. Спектроскопические методы, такие как инфракрасная спектроскопия или рамановская спектроскопия, могут использоваться для анализа образцов почвы на наличие определенных соединений, таких как органические загрязнители или тяжелые металлы.

## 2) Технологии мониторинга воды:

- Датчики качества воды: эти датчики используются для измерения физических и химических свойств воды, таких как температура, pH, содержание растворенного кислорода и электропроводность. Их можно использовать для контроля качества воды в реках, озерах и других водоемах.

- Оборудование для отбора проб воды: Оборудование для отбора проб воды, такое как пробоотборники или автоматические пробоотборники, можно использовать для отбора проб воды с разных глубин и из разных мест. Эти образцы могут быть проанализированы в лаборатории для определения концентрации различных загрязняющих веществ в воде.

- Оптические датчики. Оптические датчики, такие как датчики флуоресценции, можно использовать для измерения концентрации определенных соединений в воде, таких как растворенные органические вещества или хлорофилл.

- Дистанционное зондирование: методы дистанционного зондирования, такие как спутниковые изображения, могут использоваться для наблюдения за большими водоемами на обширной территории. Эти методы можно использовать для обнаружения изменений качества воды, таких как цветение водорослей или шлейфы отложений, которые могут указывать на наличие загрязняющих веществ.

Важно отметить, что выбор технологий мониторинга будет зависеть от конкретных представляющих интерес загрязнителей, условий окружающей среды и целей мониторинга. В качестве одной из важных целей мониторинга параметров загрязнителей окружающей среды может выступать компьютерное прогнозирование этих параметров [4].

Для комфортной работы в ГИС, необходимо помнить о том, что и интерфейс программного продукта ГИС является важным компонентом для облегчения взаимодействия пользователя с программным обеспечением [5]. Он должен быть удобным, интуитивно понятным и настраиваемым. Хорошо продуманный интерфейс должен позволять пользователям легко получать доступ к данным и визуализировать их, выполнять пространственный анализ и создавать визуализации и отчеты. Интерфейс также должен быть способен обрабатывать большие наборы данных и предоставлять обновления в режиме реального времени.

Одним из ключевых преимуществ использования ГИС для мониторинга загрязняющих веществ является возможность интеграции данных из нескольких источников, включая спутниковые изображения, дистанционное зондирование и наземные датчики. Это позволяет создавать подробные карты и модели, которые могут дать представление о перемещении загрязняющих веществ в различных средах окружающей среды, таких как подземные воды, поверхностные воды и почва.

ГИС также можно использовать для анализа и визуализации сложных данных об окружающей среде, что может помочь выявить тенденции и модели миграции загрязняющих веществ. Например, ГИС можно использовать для выявления очагов загрязнения или отслеживания распространения загрязняющих веществ из точечных источников, таких как промышленные объекты или сельскохозяйственные работы.

Кроме того, ГИС можно использовать для создания прогностических моделей, позволяющих оценить потенциальное воздействие будущих выбросов загрязняющих веществ на окружающую среду. Эти модели можно использовать для информирования при принятии решений и помощи заинтересованным сторонам в разработке эффективных стратегий предотвращения и устранения загрязнения.

Однако существуют также некоторые ограничения на использование ГИС для мониторинга миграции загрязняющих веществ. Например, точность моделей и карт ГИС зависит от качества и количества используемых данных. Кроме того, ГИС может быть сложным и техническим инструментом, требующим специальной подготовки и опыта для эффективного использования.

В целом, ГИС является ценным инструментом для мониторинга и отслеживания миграции загрязняющих веществ в почвах и водах. При использовании в сочетании с другими методами мониторинга и оценки ГИС может обеспечить всестороннее представление об условиях окружающей среды и помочь разработать эффективные стратегии предотвращения загрязнения и восстановления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков С.Г., Дочева К.Г., Сухорукова Г.Н. Геоинформационные системы в менеджменте. Учебное пособие. Издательство: "Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова". Москва, 2015 г. С 134.

2. Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. и др. "Основы геоинформатики" (в 2 кн). М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.

3. Технологии интернет-картографирования. Р. К. Абдуллин, А. И. Пономарчук. Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. – 132 с.



4. Шалькевич, П. К. Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве / П. К. Шалькевич // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 2. – С. 139-145.

5. Журавков В. В., Тонконогов Б. А., Шалькевич П. К. Разработка веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа данных системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и оршанского района / В. В. Журавков, Б. А. Тонконогов, П. К. Шалькевич // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2022 : environmental problems of the XXI century : материалы 22-й Международной научной конференции, 19–20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батын [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – 346 с. – Минск, 2022. – С. 360–363.

## **ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**

### **ELECTRONIC ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT**

**В. В. Плесканев<sup>1,2</sup>, Д. С. Трошко<sup>1,2</sup>, Д. С. Мишлаков<sup>1,2</sup>, П. К. Шалькевич<sup>1,2</sup>**

**V. V. Pleskanev<sup>1,2</sup>, D. S. Troshko<sup>1,2</sup>, D. S. Mishlakov<sup>1,2</sup>, P. K. Shalkevich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
shalkevich@iseu.by

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

В данной работе представлен обзор современных электронных систем мониторинга окружающей среды. Рассмотрены различные протоколы связи и платформы, используемые для электронных систем мониторинга окружающей среды. Сформулированы преимущества и проблемы электронных систем мониторинга окружающей среды.

This paper gives a comprehensive overview of modern electronic environmental monitoring systems. Various communication protocols and platforms used for electronic environmental monitoring systems are considered. The advantages and problems of electronic environmental monitoring systems are formulated.

*Ключевые слова:* электронные системы, протоколы, экология.

*Keywords:* electronic systems, protocols, ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-324-327>

В современном мире электронные системы экологического мониторинга приобретают все большее значение благодаря их способности предоставлять точные данные об окружающей среде в режиме реального времени для принятия решений. Это обусловлено тем, что мониторинг окружающей среды представляет собою систематический сбор и анализ данных об окружающей среде для оценки качества окружающей среды и ее воздействия на здоровье человека и состояние экосистемы. Электронные системы мониторинга окружающей среды представляют собой подмножество систем мониторинга окружающей среды, в которых используются электронные датчики и коммуникационные технологии для сбора и передачи данных в режиме реального времени.

В основе принципа работы электронных систем мониторинга окружающей среды лежат различные типы датчиков для сбора данных об окружающей среде. Выбор датчиков зависит от измеряемых параметров и условий окружающей среды. Некоторые из наиболее распространенных типов датчиков, используемых в электронных системах мониторинга окружающей среды, включают датчики температуры, датчики влажности, датчики света, датчики газа и датчики твердых частиц. Эти датчики работают по разным принципам, включая резистивные, емкостные и оптические принципы [1].

С практической и теоретической точки зрения следует правильно применять и классифицировать типы датчиков:

- датчики температуры используются для измерения температуры окружающей среды. Они работают по принципу теплового расширения или сжатия материалов;

- датчики влажности используются для измерения относительной влажности окружающей среды, работают по принципу емкости или сопротивления;
- световые датчики используются для измерения интенсивности света в окружающей среде, работают по принципу фотопроводимости или фотодиодов;
- датчики газа используются для измерения концентрации газов в окружающей среде. Они работают по принципу электрохимических реакций или поглощения инфракрасного излучения;
- датчики твердых частиц используются для измерения концентрации частиц в воздухе в окружающей среде, работают по принципу рассеяния или поглощения света.

Таким образом, для проведения мониторинга окружающей среды необходимо выбрать соответствующий виду мониторинга тип датчиков [3]. Выбор необходимого типа датчиков также влияет на точность сбора данных и их достоверность. Кроме того, выбор датчика также зависит от предполагаемого использования собранных данных, поскольку некоторые датчики могут больше подходить для исследовательских целей, а другие – для обеспечения соблюдения нормативных требований.

Датчики, которые используются в электронных системах мониторинга окружающей среды могут быть различных типов, в зависимости от измеряемого параметра окружающей среды. Например, датчики могут использоваться для измерения параметров качества воздуха, таких как двуокись углерода, окись углерода и твердые частицы. Точно так же датчики могут использоваться для измерения параметров качества воды, таких как pH, растворенный кислород и мутность. Другие типы датчиков могут использоваться для измерения уровня шума, температуры, влажности и погодных условий. Конкретные типы датчиков, используемых в ЕЕМС, могут различаться в зависимости от конкретного приложения и отслеживаемых параметров окружающей среды.

Датчики света и инфракрасные датчики являются важными инструментами для улучшения окружающей среды различными способами. Световые датчики связаны с мониторингом окружающей среды несколькими способами. Они используются для измерения интенсивности и спектрального распределения света в различных условиях окружающей среды, включая естественные и искусственные среды. Вот несколько примеров того, как световые датчики используются в мониторинге окружающей среды:

- мониторинг загрязнения воздуха: световые датчики используются для измерения интенсивности света, рассеиваемого загрязнителями воздуха, такими как твердые частицы (ТЧ) и летучие органические соединения (ЛОС). Измеряя интенсивность рассеянного света, эти датчики могут указывать концентрацию загрязнителей воздуха в окружающей среде.
- мониторинг погоды: датчики света можно использовать для измерения интенсивности солнечного света, что можно использовать для оценки количества солнечного излучения, получаемого поверхностью Земли. Эта информация важна для понимания погодных условий и прогнозирования изменений климата.
- мониторинг роста растений: световые датчики используются для измерения интенсивности и спектрального распределения света в средах для выращивания растений, таких как теплицы или вегетационные камеры. Эту информацию можно использовать для оптимизации условий роста растений, регулируя интенсивность и спектр света.

В целом, датчики света играют важную роль в мониторинге окружающей среды, предоставляя информацию об интенсивности света и спектральном распределении. Эта информация может быть использована для понимания условий окружающей среды и внесения корректировок для оптимизации экологических результатов.

Датчики света также можно использовать для контроля количества солнечного света, достигающего растений в сельскохозяйственных и садоводческих условиях. Предоставляя информацию об интенсивности и продолжительности солнечного света, датчики света могут помочь оптимизировать условия выращивания растений и повысить урожайность. Их также можно использовать для мониторинга эффектов затенения от близлежащих деревьев или зданий, которые могут повлиять на рост и здоровье растений. Инфракрасные датчики, также известные как термодатчики, можно использовать для контроля температуры в различных условиях окружающей среды. Например, инфракрасные датчики можно использовать для обнаружения горячих точек в электрическом оборудовании, что может указывать на потенциальные сбои оборудования и предотвращать электрические возгорания. Их также можно использовать для контроля температуры промышленных процессов, что может помочь в принятии решений, связанных с энергоэффективностью и оптимизацией процессов. Инфракрасные датчики также можно использовать в системах управления энергопотреблением зданий для контроля температуры в помещении и соответствующей регулировки систем отопления и охлаждения. Предоставляя данные о температуре в режиме реального времени, инфракрасные датчики могут помочь сократить потери энергии, снизить затраты на электроэнергию и повысить комфорт пассажиров.

В общих чертах, датчики света и инфракрасные датчики являются важными инструментами для улучшения окружающей среды разными способами. В то время как световые датчики в основном используются для оптимизации уровней освещения и улучшения роста растений, инфракрасные датчики в основном используются для контроля температуры и повышения энергоэффективности. Обе технологии могут снизить потребление энергии, снизить затраты и улучшить здоровье и благополучие людей и окружающей среды.

На сегодняшний день существует множество коммуникационных протоколов и платформ для передачи данных, которые используются в электронных системах мониторинга окружающей среды. Некоторые из наиболее распространенных протоколов связи, используемых в электронных системах мониторинга окружающей среды,

включают Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee и LoRaWAN. Эти протоколы имеют различные преимущества и недостатки в зависимости от приложения. Электронные системы экологического мониторинга могут быть подключены к различным платформам, включая облачные платформы, мобильные приложения и веб-приложения. Эти платформы предоставляют централизованное место для хранения, анализа и визуализации данных об окружающей среде.

Важно отметить, что электронные системы мониторинга окружающей среды имеют множество преимуществ, включая более высокую точность, хорошее временное и пространственное разрешение и возможность предоставлять данные в режиме реального времени. Эти системы могут обеспечивать раннее предупреждение об опасностях для окружающей среды и способствовать быстрому реагированию на экологические происшествия. Однако применение электронных систем мониторинга окружающей среды связано с рядом проблем: высокая стоимость оборудования, необходимость обеспечения безопасности данных, потребность в специализированных технических знаниях для их применения [5].

Также важную роль в обеспечении мониторинга окружающей среды выполняют протоколы связи, поскольку они облегчают передачу данных между датчиками, устройствами мониторинга и системами управления данными. Протоколы связи определяют правила и форматы обмена данными, гарантируя бесперебойную и эффективную связь устройств друг с другом. В мониторинге окружающей среды протоколы связи позволяют датчикам и другим устройствам мониторинга передавать данные об окружающей среде в центральную систему управления данными. Например, датчики, измеряющие параметры качества воздуха или воды, могут использовать протоколы беспроводной связи, такие как Wi-Fi, Bluetooth или Zigbee, для передачи данных в центральную систему управления данными. Распространенные протоколы связи показаны на рисунке 1.



Рисунок 1 – Распространенные протоколы связи

Использование протоколов связи в мониторинге окружающей среды обеспечивают:

- совместимость форматов данных: Протоколы связи гарантируют, что разные устройства могут взаимодействовать друг с другом, даже если они изготовлены разными производителями или используют разные технологии. Это улучшает функциональную совместимость систем мониторинга окружающей среды, позволяя собирать данные из широкого круга источников. Протоколы связи помогают стандартизировать форматы данных, гарантируя, что данные, собранные из разных источников, можно будет легко интегрировать и анализировать;
- масштабируемость систем мониторинга. Протоколы связи позволяют масштабировать системы мониторинга окружающей среды по мере необходимости. По мере того, как в систему добавляется больше датчиков или устройств мониторинга, протоколы связи обеспечивают эффективную передачу данных и управление ими;
- обмен данными в режиме реального времени: протоколы связи позволяют системам мониторинга окружающей среды предоставлять данные в режиме реального времени, позволяя специалистам по охране окружающей среды быстро реагировать на изменяющиеся условия или возникающие угрозы.
- стандартизацию данных. Протоколы связи могут помочь стандартизировать форматы данных, гарантируя, что данные, собранные из разных источников, можно будет легко интегрировать и анализировать.

Суть вышеизложенного сводится к следующему: электронные системы мониторинга окружающей среды являются важным инструментом мониторинга окружающей среды и управления процессами по ее улучшению. Электронные системы мониторинга окружающей среды предоставляют точные данные об условиях окружающей среды в режиме реального времени, что делает возможным принятие обоснованных управленческих решений.

При этом, применение электронных систем мониторинга окружающей среды связано с рядом нюансов, описанных ниже:

- высокие затраты на их установку, эксплуатацию и обслуживание;
- техническая сложность;
- вероятность проблем с качеством данных. Несмотря на преимущества описанных электронных систем, проблемы с качеством данных все же могут возникать. Например, на электронные системы мониторинга окружающей среды могут влиять ошибки измерения, дрейфы датчиков или пробелы в данных из-за сбоев оборудования или перебоев в подаче электроэнергии.
- необходимость соблюдения требований кибербезопасности.

Для устранения и минимизации влияния перечисленных нюансов необходимы постоянные исследования и разработки электронных систем мониторинга, а также политика и правила, поощряющие внедрение и стандартизацию этих систем. Следовательно, будущие разработки в области электронных систем мониторинга окружающей среды, необходимо сосредоточить на повышении точности датчиков, разработке более эффективных протоколов и платформ связи и решении проблем безопасности и конфиденциальности данных. Кроме того, важным направлением развития электронных систем мониторинга окружающей среды является обеспечение безопасности данных, например, за счет внедрения надежного шифрования данных и контроля доступа, анонимизацию или обезличивание данных, где это возможно, а также разработку четких политик и процедур для обработки, хранения и обмена данными.

Кроме того, прозрачность и подотчетность необходимы для укрепления доверия и обеспечения ответственного использования данных. Организации экологического мониторинга должны быть прозрачными в отношении данных, которые они собирают, того, как они используются и кто имеет к ним доступ. Они также должны нести ответственность за защиту конфиденциальности данных и реагирование на утечки данных или другие инциденты безопасности. Таким образом, уделяя приоритетное внимание конфиденциальности и безопасности данных и применяя прозрачные и подотчетные методы, организации по мониторингу окружающей среды могут помочь гарантировать, что их системы ответственно и устойчиво способствуют улучшению состояния окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колковский, Ю. В. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса / Ю. В. Колковский, А. В. Криштопов, А. И. Кудря, В. В. Груздов // Мир о науке и земле – 2018. – С. 134–136.
2. Бабкин, А.А. Инженерно-технические средства охраны и надзора: назначение и классификация. Свойства, способы переработки, области применения / А. А. Бабкин, 2020. – 185 с.
3. Козинцев, В. И. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды/ В. И. Козинцев, В. М. Орлов, М. Л. Белов // Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана – 2002. – 527 с.
4. Терентьев, А. М. Сетевой мониторинг. Том 2. Развитие и применения/ А. М. Терентьев., 2022. – 38 с.

### ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

**О. А. Прихач<sup>1,2</sup>, П. К. Шалькевич<sup>1,2</sup>**

**O. A. Prikhach<sup>1,2</sup>, P. K. Shalkevich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
shalkevich@iseu.by

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск., Республика Беларусь

<sup>1</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, the Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, the Republic of Belarus

Рассмотрены задачи в области природоохранной деятельности, решаемые при помощи географических информационных систем (ГИС). Также рассмотрены подходы к классификации ГИС, которые используются в природоохранной деятельности и дана краткая характеристика программному обеспечению, применяемому в качестве ГИС для обеспечения природоохранной деятельности.

The tasks in the field of environmental protection which could be solved with the help of geographic information systems (GIS) are considered. Approaches to the classification of GIS used for environmental protection are also considered. And a brief description of the software used as a GIS for environmental protection is given.

**Ключевые слова:** географические информационные системы, природоохранная деятельность.

**Keywords:** geographic information systems, environmental protection.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-327-330>

Географические информационные системы (ГИС) – это аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий ввод, манипулирование, анализ и вывод пространственно-координированных данных о территории, социальных



и природных явлениях при решении задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой, и территориальной организацией общества [2].

Назначение ГИС состоит в том, чтобы представлять пользователю достоверную и адекватно обработанную информацию для решения управленческих и аналитических задач в наглядной форме, удобной для оперативного анализа.

ГИС позволяет визуализировать экологически значимые данные, имеющие географическую привязку, реализовать процедуры выделения и периодического корректирования ареалов экологических проблем, которые характеризуются рядом зафиксированных параметров. ГИС является основой сохранения и защиты окружающей среды, которая не только позволяет обеспечивать наиболее выгодные расположения объектов, но и предотвращать нарушение экосистемы.

Кроме того, ГИС дает возможность осуществлять типизацию проблемных ареалов в соответствии с задаваемыми критериями, что позволяет в реальном времени получать информацию, для оценки правильности выбранных приоритетов природоохранной деятельности по конкретным территориям и эффективности проведенных природоохранных мероприятий (с привлечением экономических данных обоснования инвестиций) и скорректировать программы контрольных и других природоохранных мероприятий.

Технологии ГИС нашли широкое применение в природоохранной деятельности:

- данные аэрокосмического дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) используются для создания и обновления топографических и навигационных карт.
- разработка и внедрение программно-информационных комплексов используются для обработки аэро-космо-фотоизображений земной поверхности для получения топографических специальных карт и планов в цифровой и графической форме.
- разработка и внедрение интеллектуальных экспертных систем поддержки принятия решений используются для мониторинга состояния химически опасных объектов, автоматического обнаружения аварийных выбросов, прогнозирования зон возможного заражения и поддержки принятия решений по защите населения от воздействия ядовитых веществ подразделениями Министерства по чрезвычайным ситуациям [3].

Кроме того, с помощью ГИС также решают следующие задачи природоохранной деятельности:

- выявление повреждений лесных массивов;
- обнаружение тепловых аномалий;
- мониторинг паводков и наводнений;
- прогноз урожайности зерновых культур;
- оценка влагозапасов в снеге и др. [2].

**Подходы к классификации ГИС в природоохранной деятельности.** Следует отметить, что ГИС-технологии занимают центральное место в классификации программных продуктов, используемых экологами в целях природоохранной деятельности. Приведем упомянутую классификацию:

- программное обеспечение частотно-территориального планирования и расчета условий электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств;
- программное обеспечение автоматизированного рабочего места эколога;
- геоинформационные системы объектов газораспределительной системы;
- программные средства формирования, ведения и представления фактографической базы данных по развитию приграничного научно-технического сотрудничества [2].

Для крупных территориальных образований система экомониторинга на основе геоинформационных систем имеет сложную многоступенчатую структуру. Обычно ее можно разделить на два основных уровня.

Нижний уровень системы включает:

- федеральные, городские и ведомственные подсистемы специализированных мониторингов (мониторинг атмосферы, поверхностных вод, здоровья населения и т. п.);
- территориальные центры сбора и обработки данных.

Эти подсистемы обеспечивают сбор информации о состоянии окружающей среды и первичный анализ информации.

Верхний уровень системы экомониторинга составляет информационно-аналитический центр. В его задачи входят:

- оперативная оценка экологической ситуации в регионе;
- расчет интегральных оценок экологической ситуации;
- прогноз развития экологической ситуации;
- подготовка проектов управляющих воздействий и оценка последствий принимаемых решений.

Интеграция данных в единую систему происходит двумя путями:

- на основе конвертирования форматов данных в единый для всей системы формат;
- на основе выбора единого программного обеспечения ГИС.

Используемый программный комплекс, кроме стандартных для ГИС, должен выполнять следующие функции:

- формирование и ведение баз экологической информации по территориям, предприятиям, средам (воздух, вода, почва);
- ведение базы данных нормативно-законодательных документов в области экологии;

– ведение базы данных нормативов содержания загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве и продуктах питания;

– ведение базы данных приборов экологического контроля [1].

**Программное обеспечение ГИС, используемое в природоохранной деятельности.** Основные ГИС, используемые в природоохранной деятельности: ArcGIS, MapAround, MapWindow GIS, gvSIG.

MapAround – это инструмент разработки картографических сервисов на платформе .NET. MapAround обладает набором возможностей для построения тематических карт (управление слоями, отображение, пространственный анализ и топология и т.д.) в том числе отвечающим нуждам радиоэкологии. Основным недостатком MapAround является то, что он работает только на операционных системах семейства Windows.

MapWindow GIS – это бесплатная, основанная на C++ географическая информационная система с открытым кодом. Библиотеки MapWinGIS могут быть добавлены в Windows Form на Visual Basic, C#, Delphi или в другие языки, поддерживающие ActiveX. Однако, к недостаткам этого программного обеспечения можно отнести сравнительно низкую скорость работы, особенно, если используется карта имеет большие размеры (загрузка, обработка, перемещение происходит весьма медленно).

ArcGIS – комплекс геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. Графический пользовательский интерфейс ГИС ArcGIS показан на рисунке 1. ГИС семейства ArcGIS применяются для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии, природопользования и других областях. Дополнительный модуль ArcGIS 3D Analyst предоставляет доступ к двум средам трехмерной (3D) визуализации: ArcGlobe и ArcScene. Можно управлять анализом, выполняемым инструментами Spatial Analyst с помощью среды геообработки. Правда, к недостаткам можно отнести использование проекций в ArcScene. В ArcScene используют, как правило, плоскую проекцию, они лучше всего подходят для работы с небольшими наборами пространственных данных, необходимыми для изучения определенного района. Метод привязки карт с помощью Image Warp в ArcGIS является одним из самых простых и быстрых методов пространственной привязки растровых данных. Модуль ArcGIS Spatial Analyst содержит богатый набор инструментов и функций для комплексного пространственного анализа растровых данных. С помощью этого дополнительного модуля можно использовать широкий диапазон форматов данных для комбинации наборов данных, интерпретации новых данных, а также для выполнения сложных операций над растрами. К примерам анализа, который можно выполнить с помощью Spatial Analyst, относятся анализ поверхности, моделирование поверхности, интерполяция поверхности, модель пригодности, гидрологический анализ, статистический анализ и классификация изображений. Однако в системе Spatial Analyst определённые настройки среды имеют неполную поддержку. В зависимости от формата ввода/вывода значения параметров инструмента и, в частности, их поведения.

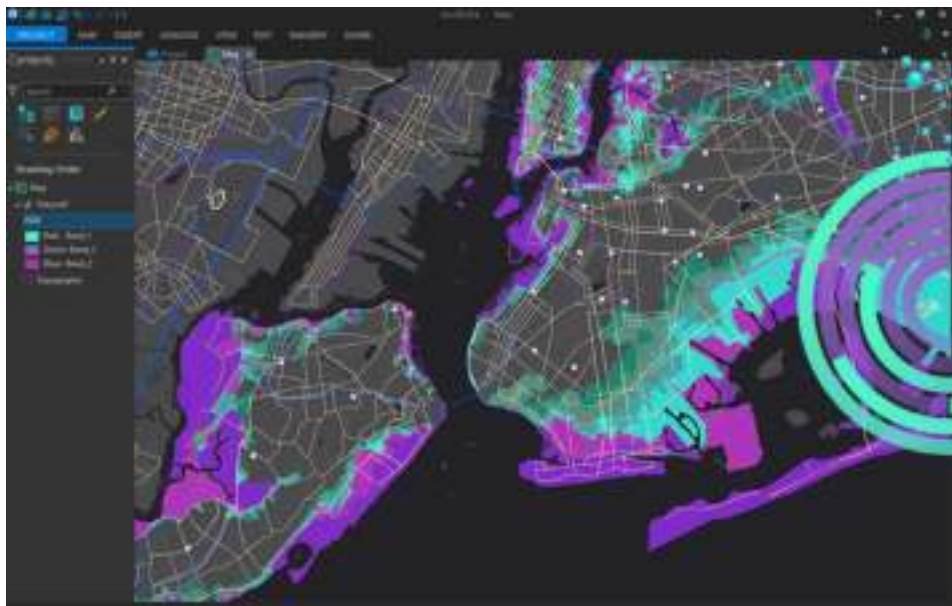


Рисунок 1 – графический пользовательский интерфейс ГИС ArcGIS

ГИС gvSIG – это программный продукт с исходным кодом, распространяющийся под лицензией GPL, что в конечном счете позволяет вносить в него свои изменения и добавлять новые функции. ГИС gvSIG наследует принципы организации интерфейса Arcview GIS, поэтому его освоение не составит труда пользователям этой программы. К недостаткам ГИС gvSIG можно отнести следующее:

- отсутствие поддержки некоторых популярных систем координат (EPSG:3857 и др.);
- программа использует свой собственный браузер, который недостаточно качественно отображает интернет-страницы;

- инструмент Zoom Manager не практичен в плане редактирования записей и их систематизации; необходимость устанавливать готовые проекты в определенную папку на диске. Это связано с тем, что программа до сих пор использует только «полные пути», что немного странно, учитывая возможность работы в Linux.

Экологические ГИС были созданы практически полностью из-за необходимости решения двух проблем: комплексной системы экологического мониторинга и комплексного регионального кадастра природных ресурсов. Необходимо также отметить, что мониторинг окружающей среды выступает в качестве одного из основных инструментов оценки эффективности программ, планов и проектов в области охраны окружающей среды и природопользования. Поэтому, согласно статье 7 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», обеспечение непрерывного функционирования Национальная система мониторинга окружающей среды является одним из приоритетных направлений природоохранной политики государства [5].

Конечно, упрощенно можно сказать, что ГИС предназначены для сбора, хранения, анализа, просмотра графической визуализации пространственных объектов. Однако, из вышеуказанного следует, что функциональность программного обеспечения ГИС более сложна, и требует более подробного рассмотрения. Особо это важно в контексте применения ГИС для решения задач природоохранной деятельности, представляющих особый интерес на государственном и мировом уровнях.

Учитывая, что ГИС в природоохранной деятельности предоставляет возможность анализа и обобщения материалов по случаям возникновения сильных деформаций наземных сооружений, разрыва коммуникаций, прорывов промышленных трубопроводных систем, заболачивания и затопления опущенных участков земной поверхности, а также региональных появлений оползневых процессов, можно утверждать, что программное обеспечение ГИС является центральным инструментом в области обеспечения природоохранной деятельности. А учитывая, что благодаря внедрению ГИС в природоохранную деятельность уменьшаются временные затраты на поиск, анализ и оптимизацию решения проблем глобального уровня, то особую важность обретают вопросы не только изучения существующих ГИС, но и рассмотрение вопросов о создании и развитии новых ГИС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Грачев, А. В.* Информационные технологии в экологии и природопользовании: учебное пособие / А. В. Грачев, В. Ю. Орлов. – Ярославль : ЯрГУ, 2013. – 130 с.
2. *Лаптёнок, С. А.* Пространственное моделирование экологических процессов средствами географических информационных систем : учеб.-метод. пособие / С. А. Лаптёнок. – Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2020. – 112 с.
3. Геоинформационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis.by/ru/> . – Дата доступа: 18.03.2023.
4. *Кутонова, Т. В.* Результаты реализации проекта «Анализ экологического риска в зоне отчуждения на белорусско-украинской границе» / Т. В. Кутонова, С. И. Киреев // Ядерная и радиационная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 69–70.
5. Национальная система мониторинга окружающей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/150.html>. – Дата доступа : 28.02.2023.

**ФИЛОСОФСКИЕ  
И СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ**



# ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ПСИХОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ КОМБИНАЦИИ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

## CHARACTERISTIC FEATURES OF THE PSYCHOEMOTIONAL STATE AND PSYCHOTHERAPEUTIC COMBINATIONS IN THE REHABILITATION OF PATIENTS WITH ONCOLOGICAL DISEASES

**А. О. Козорез<sup>1,2</sup>, И. З. Олевская<sup>1,2</sup>**

**A. Kozorez<sup>1,2</sup>, I. Olevskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
kfse@iseu.by

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В статье рассмотрены характерные черты общего состояния человека при неизлечимой болезни, а также психические расстройства, наблюдающиеся у пациентов с онкологическими заболеваниями. Рассмотрены причины, предрасполагающие к риску развития раковых заболеваний. Приведены методы психодиагностики, использующиеся для анализа и оценивания психоэмоционального состояния данной категории пациентов. Представлены психотерапевтические комбинации, ориентированные на психокоррекцию состояния больных онкологическими заболеваниями в процессе лечения и на психореабилитацию и повышение уровня жизни в период восстановления.

The article discusses the characteristic features of the general condition of a person with an incurable disease, as well as mental disorders observed in patients with oncological diseases. The reasons predisposing to the risk of developing cancer are considered. The methods of psychodiagnostics used for the analysis and evaluation of the psycho-emotional state of this category of patients are given. Psychotherapeutic combinations focused on psychocorrection of the condition of patients with oncological diseases during treatment and on psychorehabilitation and improvement of the standard of living during recovery are presented.

**Ключевые слова:** уровень жизни; онкология; период восстановления; психотерапия; психокоррекция; психореабилитация.

**Keywords:** standard of living; oncology; recovery period; psychotherapy; psychocorrection; psychorehabilitation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-332-335>

На сегодняшний день широкое распространение получила концепция, описанная Р.А. Лурией: внутренняя картина болезни, как совокупность беспокойства и чувств больного из-за болезни и способов ее лечения. ВКБ имеет определенную структуру и включает ряд уровней: болевой, душевный, интеллектуальный и волевой. ВКБ считается основным элементом в определении понятия – уровень жизни, что, в свою очередь, представляется как характеристика, состоящая из жизненного опыта с устоявшимися ценностями, разнообразными событиями и желаниями, достигнутыми и поставленными целями, а также отношением к здоровью, болезни и к самой жизни. В ходе развития и повышения уровня жизни важную роль играют психосоматические взаимодействия, так как имеются доказанные факты о негативном воздействии нервных расстройств и депрессии на протекание многочисленных заболеваний и их возникновение под влиянием психоэмоционального дисбаланса. Кроме того, важным значением обладают психосоциальные взаимосвязи: выявлено, что личности с низким общественно-финансовым статусом обладают наиболее низкой степенью индивидуального контроля, жизнелюбности, доброжелательности, самоуважения, но при этом имеют высокие значения morbidity и смертности, чем представители среднего класса.

В сфере психоонкологии проводятся научные исследования, состоящие из трех направлений:

1. психологические предпосылки, как причина развития онкологических заболеваний;
2. психоэмоциональные изменения у больных онкологическими заболеваниями;
3. методы психокоррекции психики больных.

В истории человечества встречаются множество научных данных свидетельствующие о взаимосвязи душевного состояния человека на развитие и течение различных заболеваний; связь эмоций, иммунной и центральной нервной системы считается доказанным фактом... В качестве примеров психологических триггеров можно при-

вести: продолжительное пребывание в состоянии хандры, уныния и отчаяния, а также психотравмирующие события (смерть близкого человека, разрыв длительных отношений, дорожно-транспортное происшествие, природные катаклизмы и другие негативные действия). Основной причиной, влияющей на иммунную систему, вызывающей повышенный синтез атипичных клеток, является утрата интереса к существованию. Важными предпосылками к развитию злокачественных новообразований являются конституционально-депрессивная структура личности и преморбидная инфантильность. Кроме того, как было описано выше, существует связь возникновения онкологии с низким общественно-финансовым статусом.

Затрагивая вопрос об изменении психического состояния онкологических больных, то причины данных перемен достаточно объяснимы, это связано с особенностями самого ракового заболевания – болевым синдромом, постоянными переживаниями о возникновении метастазов и угрозами рецидивов. ВКБ возникает на фоне напряженного состояния личности непосредственно на сам факт присутствия болезни, традиционно относящийся к неизлечимым и смертельным заболеваниям, так и на проявление недуга, операции приносящие увечья морального и физического характера, тяжелый период восстановления, изменение статуса и роли в обществе [1]. Из-за наличия заболевания и обстоятельств, изменяющих жизненный статус человека, также трансформируется и структура пациентов, зачастую приобретая не характерные прежде личности аутистические особенности. Пребывая в состоянии психической защиты умение к рациональному оцениванию ситуации нарушается, что способно привести к формированию ошибочной концепции о состоянии личности вместе с представлением неблагоприятного исхода. ВКБ у больных онкологией может выражаться двумя противоположными вариациями: в виде гипернозогнозии (обладающей признаками беспокойства, депрессии, ипохондрии) и гипонозогнозии (позднее обращение за медицинской помощью, игнорирование рекомендаций врачей). Проявление психических реакций в предоперационный и послеоперационный периоды, характеризующие присутствие и эксплицитность дальнейших психических расстройств, зависят от многочисленных факторов: возраста, социального статуса, индивидуальных особенностей личности, интеллектуального уровня и осведомленностью, отношений в семье, времени ожидания операции, информации о результатах лечения других пациентов. В соответствии с научными данными эпидемиологических исследований, расстройства психического характера у больных онкологией развиваются в 70–80% случаев. Из-за ухудшающегося самочувствия, вегетативно-сосудистых нарушений и условий ограничения обычной социальной жизни у пациентов прослеживается депрессия, эмоциональная нестабильность, непрерывное беспокойство и тревога, не свойственная прежде враждебность и грубость, вызванная озабоченностью собственным состоянием здоровья и отрицанием излечения. В динамике ВКБ у пациентов на различных стадиях лечения прослеживается трансформация, начиная с вытеснения мыслей о заболевании на стадии диагностики и возрастающей тревоге, возникновение страха смерти и депрессии на стадиях лечения; в последующем душевное состояние улучшается или ухудшается в зависимости от результатов лечения. На этапе проведения операции, устанавливается зависимость психологического состояния от уровня инвазивности будущего вмешательства и пораженного места. Позднее, на этапе реабилитации, кроме индивидуальных волнений и переживаний пациентов, присутствуют и конкретные предпосылки психического дискомфорта: неадекватное и враждебное отношение окружающих, нередко навязчивое любопытство, безучастность или игнорирование со стороны близких людей [2].

У представительниц слабого пола самое распространенное онкологическое заболевание считается РМЖ – рак молочной железы. Мастэктомия приводит к изменению физического и психологического состояния тела, ощущении неполноценности и ущербности, из-за этого у людей с РМЖ, которые перенесли медицинское вмешательство, в особенности выражен дефект психоэмоционального состояния. После неизбежных операций для лечения РМЖ наблюдается тяжелая депрессия и раздражительность, обидчивость, психологическая лабильность, зачастую с суицидальными мыслями и идеями о физическом недостатке и уродстве. В 87% случаев больные РМЖ пребывают в шоковом состоянии, беспокойстве и страхе при постановке диагноза. Если данное состояние не пресекать, то после мастэктомии уже имеющиеся расстройства перетекают в серьезные невротические и апатичные состояния, возникающие на основе тревожного ожидания ухудшения общего состояния. В особый этап (после завершения лечения к 12–15 месяцу) обнаруживается наличие тревожно-депрессивных, тревожно-ригидных и истерических типов личности, что свидетельствует о присутствии глубочайшей деструкции нервной системы.

С целью уточнения психологического состояния больного на его болезнь, а также для оценки динамики ВКБ и разработки стратегий по психокоррекции используются разнообразные психодиагностические методики. Среди них: ММРІ, личностный опросник Бехтеревского института – ЛОБИ, опросники Айзенка, Тейлор, Лондонской больницы Миддлсекс – МНҚ, опросник уровня тревожности Ч.Д. Спилбергера, шкала выраженности депрессии Гамильтона – HAM-D, госпитальная шкала тревоги и депрессии – HADS, опросник ТОБОЛ, тест оценки фрустрационной толерантности, методика оценки суицидального риска «Сигнал», тест оценки способности к психоэмоциональной регуляции, тест смысловых ориентаций (СЖО), опросник общей самооценки Р. Шварцера и М. Ерусалема, опросник социальной поддержки G. Zimet и другие.

Нестабильное душевное состояние больных оказывает влияние на протекание каждого этапа заболевания, при этом усложняя дооперационный промежуток, а также тормозя восстановление системных нарушений после медицинского вмешательства, повышая риск для возникновения психических и физических осложнений. Психопатологические состояния, развивающиеся в следствии болезни и ее лечения зачастую не обладает тенденцией к спонтанной редукции; напротив – прослеживается их нарастание, из-за чего и возникает потребность психокоррекции и эмоциональной реабилитации. На сегодняшний момент общепризнанна значимость и результативность психотерапии онкологических больных, однако до сих пор не сформулированы общие эталоны ее выполнения. Из многочисленных научных направлений и методов зачастую упоминаются следующие течения

терапии: когнитивно-поведенческая, экзистенциальная, групповая психотерапия, рациональная, интегративная, результативная мышечная релаксация, гипноз, аутотренинг символдрама, психодрама, техники интенсивного воображения, гештальт-терапия, психоанализ, транзактный анализ, психосинтез. Стоит отметить три ключевых периода в психотерапии: работа в предоперационный, в постоперационный и особый периоды.

В предоперационный период деятельность, главным образом, ориентирована на коррекцию взглядов пациента касательно самого заболевания, базирующейся на основе упорядочивания всей осведомленности больного о методах диагностирования заболевания, а также проговаривания проявляющихся тревог и негативных мыслей, связанных с предстоящими медицинскими вмешательствами и собственными ощущениями больного. Ученые в сфере психоонкологии подмечают значимость приобретения пациентами новой концепции их смысла жизни по причине того, что прошлые представления и стандарты не соответствуют сложившейся действительности начиная с момента оглашения диагноза. Актуальными направлениями для выработки новой жизненной позиции являются терапии В. Франкла и А. Лэнгле, методы проработки базовых убеждений, ценностей, рационально-эмотивная психотерапия, а также техника психосинтеза с целью создания новой концепции существования.

Психотерапия на постоперационном этапе ориентирована на профилактику от погруженности в депрессию и самоизоляции. Весьма результативны разнообразные тенденции групповой или коллективной психотерапии, помогающие в формировании общения, приближенные к стандартным условиям, что приводит к избавлению больного от комплекса неполноценности. Немаловажное значение имеет психокоррекция в восстановлении функций организма после медицинского вмешательства. Согласно исследованию Т.И. Грушиной, у больного с диагнозом – рак горла, после ларингэктомии восстановление звучности голоса напрямую зависело от состояния психики пациента; по этой же причине включение психотерапии в реабилитационный комплекс процедур содействовало повышению эффективности проведения логопедических упражнений из-за наличия у пациента стабильного эмоционального состояния [3].

Наиболее продолжительным и сложным в сравнении с предыдущими этапами является восстановительное лечение психотерапией, так как шоковое состояние, приобретенное на первых этапах, перерастает в сложные тревожно-депрессивные дисбалансы. Перемены в отношении человека к самому себе и миру, а также перемены, направленные в сторону этой личности, могут стать причиной самоизоляции, которая подкрепляется фактом инвалидности с последующей утратой прошлых общественных контактов. Вследствие этого психокоррекции в период реабилитации надлежит быть ориентированной на развитие новых целей, которые станут содействовать возвращению к полноценному существованию. Высокие результаты психотерапии подмечают и другие авторы в отношении онкологических больных на разных стадиях лечения в комбинациях различных модальностей, вдобавок множество методик применяются одновременно, потому как способны положительно влиять на психику в определенной комбинации приемов.

Помимо прочего существуют сведения об удачном психотерапевтическом влиянии на пациентов в условиях изолированного использования одной – двух модальностей. К примеру, S. Greer создал способ адьювантной психологической терапии, выступающая как кратковременная групповая работа в условиях когнитивно-поведенческой психотерапии, сосредоточенной на переоценке дезадаптивной манеры поведения. Еще один автор, Г.А. Ткаченко, в своем труде упоминает о существенных улучшениях эмоционального состояния пациентов в следствии пользования методикой арт-терапии в условиях изоляции, помогающей отображать состояние, чувства и эмоции на графическом уровне символов. Помимо использования арт-терапии, Г.А. Ткаченко в сотрудничестве с Л.В. Сафроновой опубликовывают данные о результативности применения символдрамы в качестве психотерапии для больных онкологией, позволяющая взаимодействовать с состоянием пациента на данный момент, а также с его травматическим прошлым и дающая прогнозы на будущее с последующими перспективами. Авторы фиксируют особенную гибкость метода как характерное свойство, позволяющее применять символдраму в совокупности с арт-терапией, клиент-центрированной и телесно-ориентированной терапиями [5]. Помимо прочего в обзорах встречаются данные касательно использования в психотерапии больных метода десенсибилизации и переработки движениями глаз – ДПДГ. Из научных данных И.В. Григорьевой и С.А. Игумнов, кратковременная ДПДГ практика дает возможность за более короткие сроки достигнуть наиболее устойчивого состояния эмоциональной адаптации, чем при применении стандартных методов психотерапии.

В процессе прохождения всех этапов болезни, начиная с постановки диагноза и заканчивая установкой состояния ремиссии у больных. В данные периоды у пациентов весьма часто кардинально изменяется мировоззрение, так как само осознание сложности и мало излечимости заболевания для жизни приводит к потере привычного смыслов существования с дальнейшим изменением этих смыслов. Г.А. Ткаченко вместе с И.М. Шестопалова вследствие общения с больными РМЖ установили и зафиксировали изменения ценностно-потребностной сферы. Отмечалось увеличение значимости для пациентов таких ценностей, как личностное развитие, любовь и поддержка, уверенность в себе, стремление к жизни, присутствие преданных друзей. Н.В. Финагентова, в своих наблюдениях выделила факторы, содействующие повышению эффективности действия реабилитации, ими стали желания к душевному развитию, умения обладать и управлять своими эмоциями, принятие себя в новом статусе, способность заводить новые знакомства и идти на контакт с окружением, интенсивная работа, направленная на выздоровление. Психотерапия направлена на душевное и эмоциональное развития, помогающее сокращать продолжительность реабилитации и улучшать лечебные прогнозы. Существует ряд исследований, согласно которым подтверждается факт того, что психотерапия пациентов с онкологией повышает уровень жизни и продлевает ее на столько, сколько это возможно, а также содействует к быстрому и абсолютному выздоровлению. Касаясь последнего утверждения о «абсолютном исцелении» то данное «чудо» совершается не в результате постулирования психотерапевтом и не вследствие веры больного в исцеление, а за счет использования методов, которые сопровождаются истинными чувствами и приводят к трансформации сознания больного [4].

В заключении к данной статье можно сделать, что у больных онкологией зачастую наблюдаются дисфункции психоэмоционального плана, оказывающие негативное влияние на лечение и понижающие результативность реабилитации на этапе восстановления. Следовательно, появляется потребность в проведении психокоррекции и психотерапии. Большую эффективность среди других лечебных тактик имеет мультимодальный подход, так как обладает обширным спектром методик. В статье не был освещен вопрос на тему психокоррекции в паллиативной онкологии, так как это терапевтическое направление имеет особые цели и задачи и поэтому запрашивает наиболее детального осведомления вопросом об психоэмоциональном состоянии онкологических больных в терминальной стадии, так и сущности о ценностях и традициях человечества, связанных с культом увядания и смерти. Данная проблема освещается в работах других исследователей, таких как А.В. Гнездилов, К. Саймонтон и С. Саймонтон, Е.П. Комкова, Н.П. Кокорина, Ю.А. Магарилл и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Вассерман Л.И., Трифонова Е.А., Федорова В.Л.* Внутренняя картина болезни в структуре качества жизни у больных с соматической патологией. / Л.И. Вассерман, Е.А. Трифонова, В.Л. Федорова // Сибирский психологический журнал. – 2008. – №27. – С. 67–71.
2. *Григорьева И.В., Игумнов С.А.* Особенности психологического состояния и медико-психологическая помощь пациентам, оперированным по поводу рака щитовидной железы: основные стратегии психотерапевтической коррекции. / И.В. Григорьева, С.А. Игумнов // Обзор психиатрии и медицинской психологии. – 2010. – № 2. – С. 19–23.
3. *Гуменюк Л.Н., Рослякова В.А.* Биопсихосоциальные факторы риска формирования дезадаптации у больных со злокачественными опухолями челюстно-лицевой области. / Л.Н. Гуменюк, В.А. Рослякова // Журнал психиатрии и медицинской психологии. – 2010. – №1-2. – С. 6–103.
4. *Ивашкина М.Г.* Опыт психокоррекционного и психореабилитационного сопровождения личности в условиях онкологического заболевания. / М.Г. Ивашкина // Лечебное дело. – 2010. – №3. – С. 49–54.
5. *Рослякова В.А.* Клинико-психопатологическая характеристика депрессивных расстройств не психотического уровня у больных с опухолями челюстно-лицевой области. / В.А. Рослякова // Медицинская психология. – 2012. – №7 (1). – С. 8–85.

## БИОСФЕРНЫЕ РЕЗЕРВАТЫ КАК ОБЪЕКТЫ ВОПЛОЩЕНИЯ ИДЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ BIOSPHERE RESERVES AS OBJECTS FOR IMPLEMENTING THE IDEAS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Е. А. Кривошеева, Е. Б. Яценко*  
*E. A. Krivosheeva, E. B. Yatsenko*

*Российский Университет Дружбы Народов, г. Москва, Россия*  
*krikate2000@mail.ru, yatsenko\_eb@pfur.ru*  
*RUDN University, Moscow, Russia*

В данной работе рассмотрено создание биосферных резерватов как способ достижения устойчивого развития человечества. При написании статьи были изучены условия их создания, цели, задачи и функции. Также была проанализирована динамика изменения числа резерватов на территории России и их распространение по регионам страны.

This research pays attention on the creation of biosphere reserves as a way to achieve sustainable development of society. This article gives an overview of the conditions for their creation, goals, objectives and functions were studied. The dynamics of changes in the number of reserves on the territory of Russia and their distribution across the regions of the country was also analyzed.

*Ключевые слова:* биосферный резерват, биологическое разнообразие, устойчивое развитие.

*Keywords:* biosphere reserve, biological diversity, sustainable development.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-335-338>

Активное освоение человеком планеты и его антропогенное воздействие на окружающую среду сыграло немаловажную роль в изменениях на Земле. Для удовлетворения своих базовых потребностей человек истреблял существующие рядом виды растений и животных, тем самым уменьшая биологическое разнообразие, преобразовывал территории, что приводило к серьезным (местами необратимым) изменениям.



Само понятие «биоразнообразие» было введено в использование после Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 году (первый «Саммит Земли»), когда экологи смогли повлиять на решение правящих вершин и убедить в необходимости охраны живой природы; ее приоритетном и первостепенном значении, стимуляцию устойчивого развития на глобальном уровне. Тогда же были озвучены 26 принципов сохранения окружающей среды и учрежден Всемирный день охраны окружающей среды (День эколога- 5 июня). После этого прошел ряд конференций ООН, появлялись конвенции, расширялся понятийный аппарат, добавлялись термины, которыми в дальнейшем стало оперировать научное сообщество. Термин «биосферный резерват» не стал исключением. Он был введен для решения вопросов, связанных рациональным использованием и одновременным сохранением биологических ресурсов и биологического разнообразия. Для решения таких вопросов необходимо слаженное и скоординированное действие как научного сообщества, так и мировой общественности, органов власти государств [4].

Концепция биосферного резервата появилась в 1974 году и была разработана в рамках программы «Человек и биосфера» (МАБ) ЮНЕСКО. В дальнейшем в 1976 году была создана сеть биосферных резерватов. В 1983 году состоялся первый Международный конгресс по биосферным резерватам, в результате которого 1984 году появился «План действий по биосферным резерватам» [3].

Определение биосферных резерватов было дано в Положении о всемирной сети биосферных резерватов. Биосферными резерватами называются «зоны наземных и прибрежных/морских экосистем (или сочетание таких экосистем), международно-признанные в рамках программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ) в соответствии с настоящим Положением».

Немаловажное значение уделено функциям биосферного резервата. Были выделены 3 основные функции:

- 1) сохранение, заключающаяся в сохранении ландшафтов, экосистем, видов и генетических разновидностей;
- 2) развитие, заключающаяся в содействии и сотрудничестве для обеспечения устойчивого развития в экономической, социальной сфере, сфере охраны окружающей среды и социокультурном аспекте;
- 3) научно-техническая, заключающаяся в поддержке различных демонстрационных проектов, поддержке проектов по экологическому образованию и просвещению, подготовке кадрового состава в сфере охраны окружающей среды, для реализации научных исследований и мероприятий по мониторингу, связанными с региональными, национальными и глобальными вопросами устойчивого развития [5].

Понятие биосферного резервата, как и многие другие понятия, связанные с естественно-научным знанием, формировались одновременно с понятием устойчивого развития, претерпевали ряд интерпретаций и изменений. Это понятие является комплексным. Понятие «биосферный резерват» подразумевает введение в научное и культурное пространство (в обиход людей при употреблении в специальной литературе и широкими массами), термина, связывающего технологии воспроизводства и потребления природных ресурсов [2].

В ходе исторического развития данного понятия была образована целая сеть биосферных резерватов. Она явилась инструментом и «ключом» к сохранению биологического разнообразия и устойчивого развития. Это внесло огромный вклад в реализацию положений Конвенции о биологическом разнообразии (принята 5 июня 1992 года в Рио-де-Жанейро), целью которой явилось «сохранение биологического разнообразия, устойчивое использование его компонентов и совместное получение на справедливой и равной основе выгод, связанных с использованием генетических ресурсов, в том числе путем предоставления необходимого доступа к генетическим ресурсам и путем надлежащей передачи соответствующих технологий с учетом всех прав на такие ресурсы и технологии, а также путем должного финансирования» [2].

Необходимо отметить, что каждая биосферная территория подчиняется законодательным основам государства, в котором расположена.

Биосферный резерват должен включать 3 основных элемента:

- основная территория (ядро). Их может быть и несколько. Они должны находиться под долгосрочной защитой, что позволяет сохранять биоразнообразие и вести наблюдение за экосистемами, не нарушающими её целостность и не ухудшающие её состояния.
- Буферная зона- зона, располагающаяся вокруг ядра или примыкающая к нему. Она необходима для осуществления деятельности, связанной с экологическим образованием и просвещением, организацией досуга и экологического туризма, реализации различного рода фундаментальных и прикладных исследований.
- Гибкая переходная зона- зона, в которой возможно реализовывать сельскохозяйственные работы, размещать населенные пункты или вестись совместная работа администраций, научных организаций и местных общин по реализации рационального управления и устойчивого воспроизводства ресурсов данной территории

Эти 3 зоны были задуманы как «концентрические» круги и установлены таким образом, что характеризует такое важное достоинство концепции, как гибкость при реализации и возможности движения и смещения границ [3].

На территории Российской Федерации по состоянию на 2022 год расположено 48 биосферных резерватов. Первые биосферные резерваты были образованы ещё в 1978 году. На основании данных, представленных в справочнике «Биосферные резерваты России» на основе материалов Российского комитета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ) [1] была построена динамика изменения числа биосферных резерватов России (рис.1). На основании полученного графика наблюдалась динамика роста их количества, особенно резким было увеличение числа в периоды 1978–1986 и 2000–2004 годы; наименее динамично их число менялась в период 1986–2000 годы. Такая динамика тесно связана с политической обстановкой в стране и уровнем жизни и обеспеченности населения. При нестабильной социально-экономической ситуации фокус внимания человека уходит от вопросов сохранения окружающей среды к вопросам выживания и удовлетворения базовых потребностей. При этом при стабилизации ситуации, высоком уровне жизни и удовлетворенности человека необходимыми благами

человек готов уделять больше внимания охране окружающей среды, вводить дополнительные меры регулирования и сохранения, а также достижения высших задач и целей устойчивого развития. Увеличение числа биосферных резерватов предполагает внесение изменений в природоохранное законодательство, подразумевающее под собой детальную проработку конфликтных ситуаций, возникающих в результате урбанизированного развития регионов и необходимости поддержания биоразнообразия.



Рисунок 1 – Динамика изменения количества биосферных резерватов в России

Также на основании приведенных карт [1] было построено распределение размещения биосферных резерватов по природным комплексам России. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что наибольшее число резерватов расположено в зонах высотной поясности. Это может объясняться резкой сменой ландшафтов и природно-климатических условий и зон, что оказывает непосредственное влияние на биоразнообразие и наличие уникальных видов; а также необходимостью защищать их от возможного влияния человека, главным образом, из-за серьезной рекреационной нагрузки в результате развития отрасли туризма.

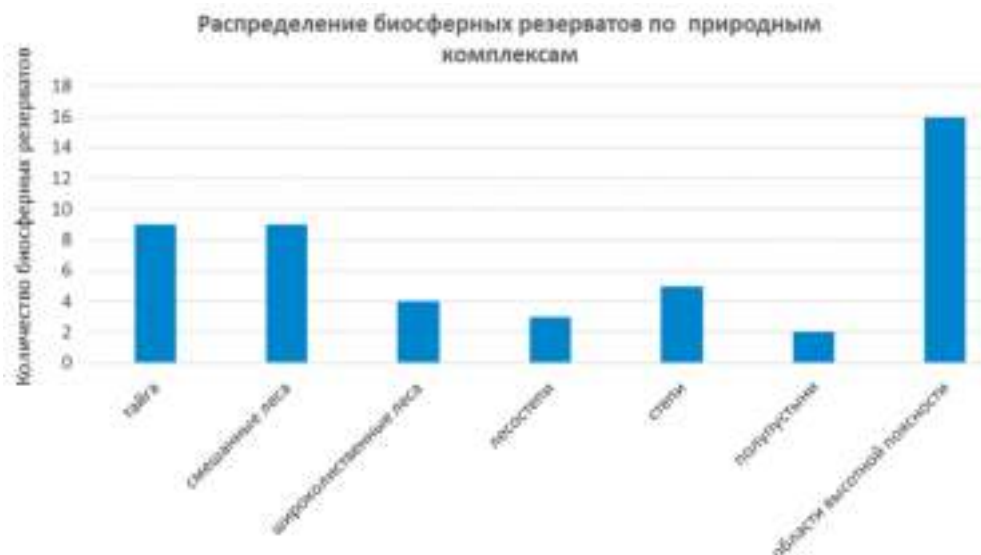


Рисунок 2 – Распределение биосферных резерватов по природным комплексам в России

Понятие биосферного резервата является относительно молодым и введенным в обиход ученых и населения мира относительно недавно. Именно в связи с этим составляющие его компоненты и сама концепция являются гибкими, строго незафиксированные в законодательных основах государств и истолковывается в зависимости от местных законов.

Концепция биосферного резервата, предложенная в рамках программы «Человек и природа» в 1974 году, продолжает изменяться и трансформироваться под влиянием различных соглашений, а также с течением времени, поскольку и в настоящее время происходят процессы, связанные с признанием тех или иных территорий особо охраняемыми природными территориями, подписание международных договоров и протоколов, направленные на сохранение биоразнообразия той или иной экосистемы отдельного государства.

Повышение уровня жизни населения, которое обеспечивается грамотной социально-экономической политикой, будет способствовать бережному отношению к окружающей среде. Удовлетворение базовых потребностей человека обеспечит возможность смещения фокуса внимания на вопросы достижения устойчивого развития и сохранения биоразнообразия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. «Биосферные резерваты России». Иллюстрированный справочник Электронное издание. 2022 г. 332 стр под редакцией В.М. Неронов, А.А. Луцкеина, Т.Ю. Каримова, А.А. Чешев <http://vernadsky.ru/assets/files/1/555/Fo8okZqBPpw9euvIB0hB9i2pEg6Xng5Z.pdf?ysclid=ldw1q253vd29917316> (дата обращения: 07.02.2023)
2. Кудинова Г.Э., Хасаев Г.Р. «Биосферный резерват» – исторический экскурс и современное состояние. – Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Самара, т.18, №5(3), 2016, с. 463–467
3. Неронов В.М., Луцкеина А.А. История и дальнейшие задачи развития программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАН) и сети биосферных резерватов в России. - Международные отношения и мировая политика. Проблемы постсоветского пространства №5(4), 2018, с. 336–350.
4. Севильская стратегия для биосферных резерватов URL:[https://wwf.ru/upload/iblock/233/seville\\_strategy.pdf?ysclid=lc5htj5jff656925687](https://wwf.ru/upload/iblock/233/seville_strategy.pdf?ysclid=lc5htj5jff656925687) (дата обращения 27.12.2022)
5. Тишков А.А., Белоновская Е.А. Зоны биосферного резервата и вклад каждой из них в решение проблем сохранения биологического и этнокультурного разнообразия и устойчивого развития региона // Биосферные резерваты России в XXI веке. Вклад в устойчивое развитие и сохранение биологического и этнокультурного разнообразия в России в контексте глобальных изменений, Ханты-Мансийск, 2007 С. 21–40.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЗВУКОВЫМИ И СВЕТОВЫМИ ВОЛНАМИ. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН INVESTIGATION OF THE INTERRELATION BETWEEN SOUND AND LIGHT WAVES. VISUALIZATION OF SOUND WAVES

**М. В. Ленчевский, С. А. Войтова**  
**M. V. Lenchevskiy, S. A. Voitova**

*Государственное учреждение образования «Средняя школа №18 г. Могилева»  
г. Могилев, Республика Беларусь  
kovaleva\_30@mail.ru*

*State educational institution "Secondary school No. 18 of Mogilev"  
Mogilev, Republic of Belarus  
kovaleva\_30@mail.ru*

Визуализация звука – это следствие использования взаимосвязи между звуковыми и световыми волнами: ученые давно доказали, что возможно соотнести длину звуковой волны и соответствующий ей цвет в спектре видимого излучения. Используя алгоритм преобразований Фурье, мы разработали приложение для операционных систем Android и Windows, которое создает световые профили различных звуковых волн. Приложение способно принимать звук с любого потока ввода, что позволяет применять его в социализации слабослышащих людей для создания гармоничной безбарьерной среды.

Visualization of sound is a consequence of using the connection between sound and light waves: scientists have long proved that it is possible to correlate the length of a sound wave and its corresponding colour in the visible spectrum. Using the Fourier transform algorithm, we have developed an application for Android and Windows operating systems that creates light profiles of various sound waves. The application can receive sound from any input stream, which allows it to be used in the socialization of hearing-impaired people to create a harmonious barrier-free environment.

*Ключевые слова:* Безбарьерная среда, слабослышащие люди, профиль, октава, спектр, визуализация, синестезия, преобразование Фурье.

*Keywords:* Barrier-free environment, hearing-impaired people, profile, octave, spectrum, visualization, synesthesia, Fourier transform.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-338-341>

Живя в мире, наполненном различными звуками, мы хотим понять, что же такое – звук? Природой человеку дан слуховой аппарат. Звук человек слышит. Но люди издавна привыкли верить лишь тому, что видят. А можно ли увидеть звук? Мы задумались над этим вопросом. Ведь, «увидев» его, нам легче будет понять его свойства.

Приступая к работе, мы поставили перед собой цель определить взаимосвязь между характеристиками звуковой и световой волны. И уже в процессе исследования мы углубились в изучение вопроса визуализации звука и возможности практического использования данного явления – так и появилась идея разработки мобильного приложения, главной задачей которого станет преобразование звуковых волн в световой профиль. Данная разработка может помочь социализации слабослышащих людей и внести вклад в создание безбарьерной среды.

Что же такое звук? Пытались ли люди «увидеть» его раньше?

Звук – это один из видов информации, который человек получает из окружающего мира с помощью органов чувств. Представление о многих вещах и предметах впервые создаются в сознании человека именно на слух. Но человек не был бы человеком, если бы не пытался связать звук с другими органами чувств, например, со зрением.

С древних времен люди пытались визуализировать звук. Пифагор и его ученики узнали, что струны с кратной длиной порождают гармоничные звуки. Для Пифагора данное открытие подтвердило, что абсолютно все можно связать с математикой и числами.

Одним из первых инструментов визуализации звука стала конструкция из двух камертонов и зеркал Ж.А. Лиссажу. Благодаря перпендикулярно настроенным колебаниям одинаковых частот камертонов луч света в отражении зеркал начал рисовать фигуры. В конструкции Д. Тиндалла один из камертонов заменило равномерно поворачивающееся зеркало. Таким образом, ученым удалось визуализировать колебания камертона [1].

Но мало было визуализировать звук: его нужно было зафиксировать. Т. Эдисон попробовал применять фонограф для записи звука. Появление этого устройства стало возможным благодаря изобретению телефона, объединившего в себе микрофон и динамик, в 70-ых годах XIX века. Столь необычное использование фонографа запустило его эволюцию: за несколько лет он превратился сначала в граммофон, потом – в патефон.

Сегодня мы используем визуализацию звука для того, чтобы ориентироваться под водой (в гидроакустических локаторах), обнаруживать коррозии металла (при дефектоскопии) и даже для создания шоу фонтанов [2]. Благодаря современным исследованиям, мы можем выделить следующие группы методов визуализации звука [3]:

1) методы, в которых используются колебательное смещение частиц. Один из способов этого метода - изображения звука при помощи компьютерных технологий.

2) методы, основанные на деформации водной поверхности под действием звука, акустические течения.

Как отмечалось выше, целью нашего исследования было определение взаимосвязи между характеристиками звуковых и световых волн. Данные виды волн были выбраны из-за того, что большую часть информации человек получает через оптический и акустический каналы. При изучении данных каналов принято обращать внимание на их отличия, например, на разную разрешающую способность, различия в информационном объеме и т. д. [4].

В процессе исследований мы обратили внимание на то, что между звуком и цветом есть тесная связь. Исследования доказали, что звук представляет собой серию гармонических колебаний. Доказательством взаимосвязи света и звука является визуализация нотного стана. Каждая музыкальная нота – это звук, имеющий собственную частоту и длину волны. Монохроматические (чистые) цвета также определяются длиной волны и имеют частоту. Исследования показали, что чтобы поднять ноту на одну октаву выше, частоту ее волны нужно увеличить в два раза. Так, например, частота ноты Ля малой октавы – 220Гц, соответственно, Ля первой октавы будет иметь частоту  $220 \times 2 = 440$  Гц. Если постепенно подниматься все выше и выше, на 41 октаве частота звуков окажется в спектре видимого излучения [4]. Именно в этом спектре мы можем соотносить длину звуковой волны и соответствующий ей монохроматический цвет. Путем наложения октавы на радугу мы выяснили, что все цвета спектра укладываются в нотный стан. Возможно, подобная закономерность является также доказательством того, что не случайно существуют именно 7 основных цветов, а в стандартную гамму входят именно 7 нот.

Визуально получается вот такая схема:

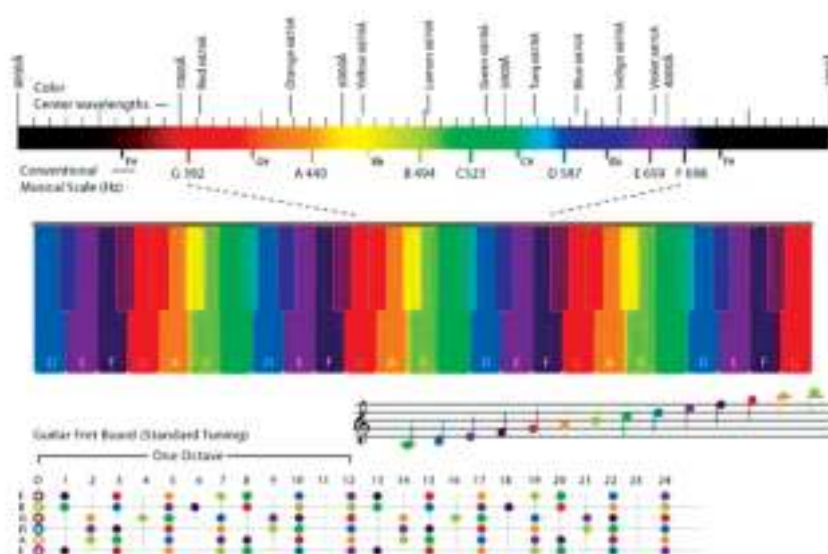


Рисунок 1 – Схема наложения октавы на радугу



Интересно, что взаимосвязь между светом и звуком заметили не только ученые, но и сама природа. Синестезия – это неврологический феномен, при котором два или более вида чувств сливаются воедино [5]. Синестезия в различной степени своего проявления, встречается и у многих слабослышащих людей: разные участки мозга, выполняя разные функции, у слабослышащих людей имеют больше «перекрестных» нейронных связей. Одним из видов синестезии является хроместезия – это цветовая ассоциация на звуки. Звук порождает ощущение цвета и «выглядеть» это может по-разному.

Теперь, когда мы понимаем теоретическое обоснование связи света и звука, мы можем перейти непосредственно к нашему исследованию. Так, в качестве отправной точки мы использовали соответствие между произведением длины световой волны  $\lambda_{\text{св}}$  и скорости света в вакууме  $c$  и произведением длины звуковой волны  $\lambda_{\text{зв}}$  и скорости звука, действующее в определенном диапазоне звуковых частот, а именно:

$$c \cdot \lambda_{\text{св}} \approx v \cdot \lambda_{\text{зв}} \quad (1)$$

Это соотношение дает возможность сопоставить длины волн света и звука, воспринимаемые человеком. Перепишем (1) следующим образом:

$$f_{\text{зв}} \approx v^2 / c \cdot \lambda_{\text{св}} \quad (2)$$

Тогда, подставляя значения  $c$  и  $v$  мы получим, что диапазону слышимых звуков соответствует диапазон видимого света. Возникает естественный вопрос: случайно ли соотношение (1)? Из области акустики известно, что отношение частот тонов, соответствующих октаве, равно (2). Связать номер музыкального полутона и соответствующую ему частоту звука можно используя формулу

$$n = 12 \log_2(f_n / f_0) \quad (3)$$

где  $n$  – номер полутона,  $f_n$  – частота нужной ноты и  $f_0$  – частота настройки, обычно нота Ля первой октавы (440 Гц). Подставляя значения частот музыкальных тонов в выражение для  $f_{\text{зв}}$ , можно определить соответствующие им длины волн электромагнитного излучения.

В результате получим:

- видимый свет (400–800 нм) соответствует звуку второй половины первой октавы и первой половины второй октавы;
- каждой ноте в диапазоне 456–913 Гц с помощью формулы (1) можно сопоставить участок видимого спектра, соответствующий разложению белого света.

Идея нашего приложения для операционных систем Windows и Android заключается в том, чтобы интерпретировать любую музыку в картинку. В основе работы приложения лежит алгоритм преобразования Фурье, позволяющий разбить любую функцию на ряд синусоид и косинусоид разной амплитуды и длины волны. Но при разработке мы выяснили, что классический алгоритм преобразования Фурье хоть и точный, но крайне медленный. Поэтому в основу приложения лег не такой точный, но намного более быстрый *алгоритм быстрого преобразования Фурье*. Для разложения на частоты такого дискретизированного сигнала отлично подходит *дискретное преобразование Фурье*. Результат его использования приводит к тому, что ответ получается не бесконечно большим, а таким же дискретизированным, как и входные данные, причём алгоритм ДПФ сводится к перемножению массивов чисел. Но вместо того, чтобы перемножать весь набор входных чисел, можно разделить этот набор на два, перемножить их и определённым образом соединить ответы. В свою очередь эти наборы можно разделить на ещё меньшие наборы, и продолжать деление до тех пор, пока поровну делить уже не получится. Причём наибольшая скорость работы алгоритма БПФ достигается, если длина входного набора чисел (дискретизированного сигнала) равна степени двойки, т. к. при делении на меньшие наборы всё сводится к перемножению лишь двух чисел.

При запуске приложения на экране появится окно-лаунчер, в котором можно будет выбрать настройки. На данный момент доступны выбор устройства ввода (микрофон, микшер), выбор вида графика (зеркальный/не зеркальный, нотный или частотный вид), а также количество кадров в секунду (чем выше количество кадров, тем меньше точность вычислений, т. к. она зависит только от измеряемого промежутка времени). При нажатии на кнопку “Запустить визуализатор”, на экране появится второе окно, в котором отображается результат работы программы с заданными настройками в реальном времени.

Ссылка на исходный код приложения на GitHub: <https://github.com/mex312/SoundVisualasing>

Ссылка на скачивание Windows-приложения:

[https://drive.google.com/file/d/1azuafYyfYvRe\\_ESj8ILsSrv85jMIYJQT/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1azuafYyfYvRe_ESj8ILsSrv85jMIYJQT/view?usp=sharing)

Ссылка на скачивание Android-приложения:

[https://drive.google.com/file/d/1SPCyNrcyWvdH0DoNuKdViu4iCsnY4hn-/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1SPCyNrcyWvdH0DoNuKdViu4iCsnY4hn-/view?usp=share_link)

Ссылка на скачивание JVM (Зависимость для Windows-приложения):

<https://www.oracle.com/java/technologies/downloads/>

Основным результатом нашего исследования стало установление количественное соотношение, связывающего длины волн видимого света и слышимого звука, причем в это соотношение вошли обычные физические параметры – скорости распространения света и звука. Благодаря этому мы смогли доказать, что длины волн видимого света соответствуют области, наиболее употребляемой человеком для акустического (вербального) общения, а также показать, что расположение максимумов спектральной чувствительности рецепторов глаз на шкале длин волн таково, что они соотносятся так, как соотносятся музыкальные консонансные интервалы.



Рисунок 2 – QR-код для скачивания Android-приложения

Результатом теоретического исследования стала разработка приложения для операционных систем Windows и Android, которое позволяет визуализировать звуковые волны при помощи применения алгоритма преобразований Фурье, представляя их в качестве световых профилей. Само приложение способно принимать звук с любого потока ввода звука компьютера, благодаря чему можно настроить приложение на чтение звукового микшера и включить на компьютере музыку при помощи любого проигрывателя – приложение будет преобразовывать эту музыку в световой профиль. Стоит заметить, что мы не смогли найти аналогов данному приложению, разработанных специально для слабослышащих людей. Таким образом, используя данное приложение, можно помочь вышеупомянутой категории людей в более гармоничной социализации, а также внести свой вклад в создание безбарьерной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Миллер, Э., Хилл, К., Бэмбер, Дж. Применение звука в медицине: Физические основы / Э. Миллер, К. Хилл, Дж. Бэмбер. – Москва : Мир, 1989. – 568 с.
2. Грегуш, П. Звуковидение / П. Грегуш. – Москва : Мир, 1982. – 232 с.
3. Розенберг, Л. Д. Обзор методов визуализации ультразвуковых полей / Л. Д. Розенберг // Акустический журнал. – 1955. – № 1,2. – С. 99-109.
4. Алдошина И., Приттс Р. Музыкальная акустика / И. Алдошина, Р. Приттс. – Санкт-Петербург : Композитор, 2006. – 720 с.
5. Сидоров-Дорсо А.В., Дэй Ш.Э. Синестезия: мнения и перспективы / А.В. Сидоров-Дорсо, Ш.Э. Дэй. – Москва : ФГБОУ ВО МГППУ, 2019. – 278 с.

### ПРОБЛЕМА КОНФЛИКТА ВО ВЗАИМООТНОШЕНИЯХ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ И СТУДЕНТА

### THE PROBLEM OF CONFLICT IN THE RELATIONSHIP BETWEEN A TEACHER AND A STUDENT

**М. Д. Марковская<sup>1,2</sup>, И. З. Олевская<sup>1,2</sup>**

**M. Markovskaya, I. Olevskaya**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
markovskaya.maria.d@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Взаимодействие по линии «преподаватель – студент» является одним из основных во всем социально-педагогическом процессе. Здесь происходит непосредственная «передача» всего многообразия знаний, информации, установок, ценностных ориентации и многого другого, аккумулированных в системе высшего образования. Но, к сожалению, помимо дружественных отношений и взаимопонимания между упоминаемых в этой статье сторон нередко возникают недопонимания и разногласия. Иногда конфликтная ситуация разрешается благодаря дискуссии и принятию компромиссного решения, а иногда перерастает в конфликт и может закончиться неблагоприятным исходом для всех участников конфликта. Именно поэтому конфликты между преподавателями и студентами требуют внимания со стороны старосты учебной группы, руководства и психологической службы института.

Teacher – student interaction is one of the main ones in the entire socio-pedagogical process. Here there is a direct “transfer” of the whole variety of knowledge, information, attitudes, value orientations and much more accumulated in the higher education system. But, unfortunately, in addition to friendly relations and mutual understanding between the parties mentioned in this article, misunderstandings and disagreements often arise. Sometimes a conflict situation is resolved through discussion and the adoption of a compromise solution, and sometimes it develops into a conflict and may end in an unfavorable outcome for all parties to the conflict. That is why conflicts between teachers and students require attention from the head of the study group, the management and the psychological service of the institute.

*Ключевые слова:* Конфликт, управление конфликтом, преподаватель, студент, причина конфликта.

*Keywords:* Conflict, conflict management, teacher, student, reason for conflict.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-341-344>

Конфликт – это резкое обострение противоречий (конфликтная ситуация) и столкновение (инцидент) двух или более участников (субъектов) в процессе решения проблемы (объект), имеющий деловую или личную значимость для каждой из сторон. Сущность конфликта лаконично выражается формулами:

Конфликт = участники + объект + конфликтная ситуация + инцидент [1], где участниками являются студент и преподаватель.

Предмет (объект) конфликта – непосредственный предмет спора, притязаний, источник взаимных претензий. Важнейшими характеристиками объекта конфликта являются: а) неделимость объекта (в противном случае он не может выступать предметом спора); б) высокая значимость объекта для всех участников конфликта.

Конфликтная ситуация возникает тогда, когда интересы сторон вступают в противоречие друг с другом, однако открытого столкновения еще нет.

Инцидент – это практические действия участников конфликтной ситуации, которые характеризуются бескомпромиссностью поступков и направлены на обязательное овладение объектом обостренного встречного интереса [1].

Специфика конфликтов типа «преподаватель – студент» и «студент – преподаватель» (в отличие от конфликтов типа «учитель – ученик») заключается в том, что студент в значительно большей степени является самостоятельным субъектом педагогического процесса.

Другая особенность во взаимодействии «преподаватель – студент» заключается в том, что преподаватель обладает высоким профессиональным статусом в вузовской среде, но в повседневной жизни его значимость не так велика. К сожалению, в нашей стране преподаватель не самая высокооплачиваемая профессия, и среди некоторых студентов бытует мнение, что быть преподавателем это значит иметь низкий социальный статус. Этот момент тоже может порождать конфликты и в дальнейшем развить взаимную неприязнь между участниками.

Конфликты между преподавателем и студентом могут быть разделены на следующие группы [2]:

1. Конфликты дисциплины – нарушение студентами или преподавателями правил проведения учебного процесса.
2. Конфликты в сфере дидактического взаимодействия – в основном недовольство студентов выставленными оценками.
3. Конфликты в методике обучения – недовольство студентов непонятным или бессистемным изложением материала, усложненным языком, сухой стиль преподнесения материала и т.п.
4. Конфликты в процессе взаимодействия преподавателей со студентами – особенности личности или поведения, приводящие к столкновению (неспособность к эмпатии, завышенный уровень притязаний, столкновение значимых материальных и духовных интересов преподавателей и студентов и т.п.).

Наиболее характерными причинами конфликтов во взаимоотношениях студентов и преподавателей являются:

- различия в ценностных ориентациях;
- бестактность в общении;
- различия во взаимных ожиданиях;
- уровень профессионализма преподавателя и успеваемость студентов.

Различия в ценностных ориентациях обусловлены прежде всего разницей поколений. В преподавательском составе высшего учебного заведения достаточное количество возрастных преподавателей. Их опыт и знания бесценны, однако, этого недостаточно, чтобы процесс обучения приносил удовольствие и вызывал интерес с обеих сторон. Преподавателям следует находить, изучать и применять на практике новые подходы и методы обучения, а студентам необходимо с пониманием относиться к трудностям у возрастных преподавателей, например, с освоением информационных технологий.

Формы общения преподавателей и студентов во многом зависят от социокультурных и индивидуально-психологических качеств взаимодействующих субъектов, а также от установившихся в вузовском коллективе традиций, норм и правил общения.

Различия во взаимных ожиданиях преподавателей и студентов охватывают широкий круг проблем от ценностных ориентаций до качества получаемых знаний и эффективности их усвоения.

Значительная часть конфликтов типа «студент – преподаватель» возникает из-за низкого профессионального уровня преподавателей. Изучив литературу, можно сделать вывод, что такого мнения придерживается 1/3 студентов [3].

В свою очередь, низкую эффективность учебного процесса и конфликтность в общении преподаватели объясняют некоторыми причинами:

- иждивенческое отношение к учебе, лень, нежелание учиться;
- слабая базовая подготовка, отсутствие у студентов самостоятельного мышления, низкий уровень общей образованности и культуры, непонимание ими значимости дисциплин;
- отсутствие интереса к учебе и к будущей профессии;
- завышенная самооценка.

Чтобы выявить основные причины возможных конфликтов, вызванных поведением преподавателей, по мнению студентов, было проведено анкетирование в одной из учебных групп третьего курса МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. Были опрошены 20 студентов: 6 юношей и 14 девушек. Было предложено выбрать несколько наиболее значимых, по мнению студентов, ситуаций, когда поведение преподавателя могло бы спровоцировать конфликт.

В целом все причины конфликтов можно разделить на две группы:

1. Конфликты, вызванные эмоциональным поведением преподавателя (грубость, бестактность, морализирование, обвинения и упреки и т.п.).

2. Конфликты, вызванные недовольством профессиональным поведением преподавателя (несправедливая оценка, некачественная подача материала, завышенные требования и т.п.).

Результаты опроса приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Причины конфликтов преподавателей и студентов по данным анкетирования*

| №  | Поведение преподавателя, как причина конфликтов [4]                  | Пол студента |         | Всего |       |
|----|----------------------------------------------------------------------|--------------|---------|-------|-------|
|    |                                                                      | Мужской      | Женский | абс.  | %     |
|    |                                                                      | абс.         | абс.    |       |       |
| 1  | Несправедливая оценка ответов и работ                                | 3            | 5       | 8     | 12,9  |
| 2  | Неуважительное отношение, грубость, бестактность                     | 3            | 5       | 8     | 12,9  |
| 3  | Раздражительный, излишне эмоциональный характер преподавателя        | 2            | 1       | 3     | 4,84  |
| 4  | Подозрительное, недоверчивое и даже агрессивное поведение            | 4            | 3       | 7     | 11,29 |
| 5  | Непонятное изложение материала                                       | 2            | 1       | 3     | 4,84  |
| 6  | Завышенные требования, особенно на зачете или экзамене               | 4            | 6       | 10    | 16,13 |
| 7  | Излишнее морализирование и навязывание своих морально-этических норм | 4            | 3       | 7     | 11,29 |
| 8  | Необоснованные обвинения и упреки                                    | 3            | 3       | 6     | 9,68  |
| 9  | Проявление нетерпимости к другому мнению                             | 4            | 3       | 7     | 11,29 |
| 10 | Подача устаревшего материала, чтение по книге или конспекту          | 2            | 1       | 3     | 4,84  |

Проанализировав результаты анкетирования, можно сделать следующие выводы:

- больше всего конфликты с преподавателями возникают, по мнению студентов, из-за завышенных требований к знаниям и подготовке студентов и неуважительного отношения;
- большой процент также занимают несправедливая оценка ответов и неуважительное отношение;
- меньше всего студентов беспокоит, когда преподаватель дает устаревший материал или не совсем понятного излагает;

Интересен тот факт, что юноша и девушки, учитывая количество и тех, и других опрошенных, примерно в равных степенях выделяют значимость и эмоциональных, и профессиональных качеств преподавателя, с которым у них может возникнуть предполагаемый конфликт.

Важную роль в управлении конфликтом играет эффективное использование принципов социальной регуляции, умелое применение ее приемов и методов. Управление конфликтом и социальная регуляция тесно взаимосвязаны. С одной стороны, управление является одним из видов социальной регуляции, направленной на преодоление напряженности и предотвращение столкновений. С другой – методы и приемы социальной регуляции являются частью технологии предотвращения и преодоления конфликта.

Урегулирование означает приведение чего-либо в соответствии с установленными нормами и правилами. Если нет таких норм правил, то урегулирование теряет всякий смысл. Например: нельзя регулировать взаимоотношения, не имея представления о том, кто и чем должен заниматься [5].

Конфликтующие люди, как правило, недружелюбно настроены друг к другу. Эмоции мешают адекватно оценивать ситуацию. Контролируя конфликтную ситуацию перед педагогом встает задача, снизить эмоциональное напряжение между конфликтующими сторонами. Для этого можно использовать такие приемы:

- дать возможность оппоненту высказаться;
- не отвечать агрессией на агрессию;



- не унижать и не оскорблять противоположную сторону;
- не делать скоропостижных выводов;
- стараться выразить свое понимание и участие.

Позитивное разрешение конфликта возможно только тогда, когда преподаватель провел тщательный анализ причин и мотивов, которые привели к создавшейся ситуации, целей и возможных исходов конкретного межличностного столкновения. Показателем профессионализма педагога является его умение быть объективным.

В заключение можно сказать, что проблема конфликтов между преподавателем и студентом вуза существует и весьма актуальна. Наиболее часто такие конфликты, по мнению студентов, возникают из-за необъективной оценки работы, придирчивости преподавателя, пренебрежительного или предвзятого отношения к студентам. Студенты тоже могут инициировать конфликт, общаясь с преподавателем в вызывающей, агрессивной форме, не посещая занятия, не выполняя задания, нарушая нормы, регламентирующие учебный процесс. Однако, в учебном заведении большую ответственность за разрешение конфликта несёт преподаватель, опираясь на свой опыт, объективность и используя в своей работе анализ и рациональный подход к обучению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волков, Б. С. Конфликтология : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Волков Б. С., Волкова Н. В. - Москва : Академический Проект, 2020. – 412 с.
2. Куприянов Р.В. Межличностный конфликт в диаде преподаватель – студент. Казань 2011.
3. Зеленков, М. Ю. Социальная конфликтология (базовый курс) / М. Ю. Зеленков. – М. : Юридический институт МИИТа, 2011 – 272 с.
4. Бреслав Г. Э., Корнеску Е. Г., Сидоряк В. И. Конфликты между преподавателями и студентами // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 33. – С. 16–20.
5. Игнатова Е.С. Профессиональная деятельность педагога-психолога в учебной среде вуза // European Social Science Journal. 2012. № 12. С. 117–127.
6. Борытко, Н. М. Педагогика: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. М. Борытко, И. А. Соловцова, А. М. Байбаков; под ред. Н. М. Борытко. М.: Академия, 2007. 496 с.

## КОРРЕКЦИЯ ДЕТСКИХ СТРАХОВ У СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

### CORRECTION OF CHILDREN'S FEARS AMONG STUDENTS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

**В. В. Крицкая<sup>1,2</sup>, И. З. Олевская<sup>1,2</sup>**

**V. Kritskaya<sup>1,2</sup>, I. Olevskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь  
lerakritskaya@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Детские страхи возникают еще в дошкольном возрасте и могут иметь как временный характер, так и оставаться с человеком на протяжении всей жизни. Сейчас разработаны различные методы коррекции детских страхов для разных возрастов и зависят от вида и степени проявления страха. В статье представлены результаты исследования наличия детских страхов у студентов высших учебных заведений и методы их коррекции.

Children's fears arise even in preschool age and can be either temporary or remain with a person throughout life. Now various methods have been developed for correcting children's fears for different ages and depend on the type and degree of manifestation of fear. The article presents the results of a study of the presence of children's fears in students of higher educational institutions and methods for their correction.

**Ключевые слова:** детские страхи, страх, тревожность, коррекция страхов.

**Keywords:** children's fears, fear, anxiety, correction of fears.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-344-347>

Большинство страхов являются возрастными особенностями и имеют временный характер. Они возникают в возрасте от 4 до 5,5 лет, что связано с развитием центральной нервной системы и становлением эмоциональной сферы. Однако страхи, сохраняющиеся длительное время, служат признаком эмоционального неблагополучия и негативно влияют на психическое здоровье [2].

В специализированной психологической и психотерапевтической литературе выделяется несколько определений страха, выделяются физиологические и психологические признаки, а также подчеркивается физиологическая и психологическая направленность страха. Одни авторы определяют страх как психическое состояние (О. М. Дьяченко), другие как эмоциональное (А. Роббер, Э. Эриксон) и аффективное состояние (З. Фрейд). Исследователи связывают страх с такими понятиями, как чувство (А. Фром, В. М. Блейхер), ощущение (С. С. Степанов), эмоция (А. И. Захаров, К. К. Платонов, М. Г. Ярошевич), рефлекс (И. П. Павлов)[3].

Страх – это отрицательное эмоциональное состояние, которое проявляется при получении человеком информации о вероятной угрозе его жизненному благополучию, о реальной или воображаемой опасности. Тем не менее, страх нельзя сравнивать с тревожностью. Тревожность – это склонность человека переживать тревогу, т.е. эмоциональное состояние, возникающее в ситуациях неопределенной опасности и проявляющееся в ожидании неблагоприятного развития событий. Она возникает в детском возрасте, вследствие взаимодействия с неблагоприятной социальной средой, и присутствует в течении всей жизни человека.

На сегодняшний день существует наиболее распространенная гипотеза, согласно которой страх рассматривается как ответ человеческого организма на конкретную, адекватную или реальную опасность, а тревожность – как переживание неопределенной, безобъектной, часто преувеличенной угрозы преимущественно воображаемого характера. Также, среди психологов существует мнение, согласно которому страх больше воспринимается как угроза физическая, способная нанести ущерб нашему организму и жизни в целом, а тревожность – как психологическая угроза, при которой могут пострадать личностные особенности человека. Кэррол Изард включил страх в свою классификацию базовых эмоций, которая основана на врожденных, генетических или физиологических компонентах. Эта отрицательная эмоция сигнализирует об опасности, которая может исходить от множества причин, как внутренних, так и внешних [4].

Страх и тревога - это нормальные явления, которые встречаются у многих детей и подростков. Однако, симптомы детских страхов и тревожности часто беспокоят и проявляются в виде отвращающих мыслей и мешают повседневной жизни. Исследования показали, что девочки всех возрастов имеют более высокий уровень страха и тревожности, чем мальчики [5].

В современных психолого-педагогических исследованиях существует несколько подходов к классификации детских страхов, среди которых следует отметить следующие:

- 1) *природные* (страхи, основанные на инстинкте самосохранения): страх замкнутого пространства, темноты, глубины, высоты, животных, насекомых, воды, огня, крови, врачей, уколов, шума;
- 2) *социальные*: страх одиночества, наказания (со стороны взрослых), осуждения, насмешек;
- 3) *воображаемые* (основной причиной возникновения таких страхов является бурная фантазия, которая способна увеличиваться до очень больших размеров);
- 4) *навязчивые и реальные страхи*, которые возникают после конкретных жизненных ситуаций и которые могут стать причиной психологических травм;
- 5) *бредовые страхи* являются наименее изученными детскими страхами, причины которых не ясны;
- 6) *ситуативные страхи*, которые обусловлены конкретной опасной ситуацией (ДТП, падением с высоты и т.п.). Эти страхи являются психотравмирующими и оказывают влияние на всю дальнейшую жизнь ребенка и легко перерастают в фобии;
- 7) *личностные* страхи обусловлены индивидуальными особенностями детской психики, которые проявляются чаще всего в новом коллективе, непривычной обстановке и со временем могут развиваться в социальную дезадаптацию, усилить внутренние комплексы и низкую самооценку;
- 8) *острые* – возникают в определенной ситуации, часто носят кратковременный характер;
- 9) *хронические* – развиваются из острых при отсутствии необходимой поддержки со стороны взрослых и требуют вмешательства специалиста;
- 10) *ночные страхи* являются наиболее частыми и опасными. Они представляют собой парасомнии – нарушения поведения в различных фазах сна, обусловленные неподготовленностью центральной нервной системы, что объясняет частоту диагностируемых случаев у детей по сравнению с взрослыми [1].

Также принято выделять адекватные (адаптивные, функциональные) страхи и неадекватные (дезадаптивные, дисфункциональные) страхи. Среди неадекватных страхов выделяются воображаемые и внушенные страхи. Воображаемыми называются те страхи, которые играют важную роль в развитии и повышении детского воображения, не вызывая при этом у ребенка невротических дисфункций. Подобные страхи могут вызываться самим ребенком или его сверстниками. При рассказе друг другу страшных историй про реальных или вымышленных персонажей дети испытывают смешанные чувства страха и удовольствия. Истории и игры такого рода очень популярны у детей дошкольного и младшего школьного возраста. Однако когда воображаемые страхи становятся слишком интенсивными и вызывают нервные реакции, стоит говорить о внушенных страхах.

Если в случаях воображаемых страхов пугающий образ или ситуация вызывает колебания между негативными и позитивными реакциями, то в ситуациях внушенных страхов ребенок переживает свою беспомощность

перед явно превосходящим его возможности пугающим персонажем. Источниками таких внушенных страхов обычно являются люди старшего возраста: родители, старшеклассники и др. Внушая ребенку, что в различных ситуациях он самостоятельно справиться не способен, взрослые тем самым обесценивают саму возможность и способность ребенка решить проблему в свою пользу [3].

Существуют также врожденные и приобретенные страхи. К врожденным относятся страх высоты или падения и страх громких звуков. Приобретенные страхи возникают по мере роста ребенка в результате каких-либо эмоциональных потрясений.

Выделяют следующие причины возникновения детских страхов:

1. *Запугивание* (укус животным или насекомым, внезапный громкий звук или крик, ссоры и скандалы родителей, запугивание монстрами и пр.).

2. *Приобретенный негативный опыт*, к которому может относиться волнительное событие в жизни ребенка.

3. *Чрезмерная опека ребенка родителями*. Пытаясь уберечь своего ребенка от всевозможных неприятностей и угроз большинство родителей проявляют чрезмерную опеку, тем самым совершая большую ошибку, не давая ему полноценно адаптироваться в современном мире.

4. *Беседы взрослых*. Зачастую родители, не замечая присутствия детей, обсуждают темы, совсем не соответствующие возрасту ребенка. Иногда родители думают, что ребенок не прислушивается к их разговорам, но в это время малыш впитывает информацию, обсуждаемую взрослыми, и переживает в себе описываемую ситуацию.

5. *Виртуальная реальность*. Из-за недостатка живого общения со сверстниками и родителями ребенок с дошкольного возраста начинает увлекаться компьютерными играми, которые оказывают существенное влияние на психику и приводят к возникновению всевозможных страхов, связанных с сюжетом и героями.

6. *Беспокойство родителей*. Из-за повышенной тревожности родителей стресс и беспокойство могут транслироваться на ребенка и вызывать соответствующие страхи.

7. *Агрессия со стороны родителей*. В данном случае речь идет об агрессии по отношению к ребенку. Если мать занимает в семье лидирующую позицию, то базовое чувство безопасности, исходящее в первую очередь от нее, может страдать.

8. *Конфликты в семье*. Ребенок, в силу своего возраста тяжело воспринимает даже небольшие ссоры, поэтому постоянно находится в стрессе, если в семье часто происходят выяснения отношений.

9. *Болезни*. Неврозы или иные психические заболевания могут привести к возникновению страха у малыша. В данном случае лечением должны заниматься медики.

10. *Чувство одиночества*. Ребенок, с малых лет чувствуя себя одиноким в семье, в дальнейшем старается избегать компании сверстников и становится замкнутым в себе, боясь общения и взаимодействия с другими людьми [1].

Коррекция детских страхов у детей начинается с момента его обнаружения. Обычно это происходит в дошкольном или в младшем школьном возрасте. Коррекция подразумевает ряд упражнений, которые ребенок выполняет с родителями или педагогом-психологом.

Арт-терапия является одной из наиболее эффективных техник коррекции детских страхов. Вначале ребенку предлагают нарисовать свой страх, после чего дают на выбор несколько вариантов избавления от него: нарисовать на бумаге что-то веселое, смять или разорвать рисунок и прочее. Такая техника помогает ребенку “своими руками” избавиться от собственного страха и заменить негативные эмоции на более позитивные.

Корректировать детские страхи также можно и с помощью игры. Игры могут быть индивидуальными или групповыми, основанными на популярных детских играх, например “Прятки” или “Казаки-разбойники”. Во время игры дети напрямую сталкиваются со своими страхами и учатся преодолевать их для дальнейшего участия в игровом процессе.

Благодаря современным технологиям, коррекцию детских страхов можно проводить при помощи виртуальной реальности. Под присмотром специалиста пациент, через специальные очки, видит смоделированную ситуацию и тем самым преодолевает свой страх. Этот способ коррекции подходит как детям, так и взрослым.

Однако, не все дети избавляются от своего страха. По мере взросления детский страх может перерасти в состояние постоянной тревожности или фобии. В большинстве случаев, детские страхи не мешают вести обычную взрослую жизнь, но в некоторых случаях они могут стать причиной появления периодических панических атак.

Было проведено исследование среди студентов высших учебных заведений на наличие детских страхов во взрослом возрасте. По результатам анкетирования, на первом месте стоит страх темноты, составляющий 40 % от всех детских страхов.

Страх темноты возникает в детском возрасте на фоне чрезмерного воображения ребенка, а также просмотра фильмов или мультфильмов на ночь. Также страх возникает благодаря родителям, пугающим своих детей “Бабайкой” или другими вымышленными персонажами, живущими во тьме. Коррекция данного страха заключается в ограничении просмотра телевизора и применение различных психологических приемов, например игры, доказывающих, что в темноте нет ничего страшного. Во взрослом возрасте страх темноты встречается редко, поскольку у подростков начинает преобладать вечерне-ночной образ жизни.

На втором месте стоит страх насекомых (15 %). Причинами возникновения данного страха являются укусы (в основном осы), которые могут стать причиной аллергической реакции, либо большой размер некоторых представителей данного класса, встречающихся в странах жаркого климата. Также страх насекомых появляется в детском возрасте при наблюдении за собственными родителями, у которых тоже присутствует страх во взрослом возрасте. Коррекция проводится при помощи различных мультфильмов и картинок, где насекомые представлены с позитивной стороны. У подростков страх насекомых встречается довольно часто. Среди опрошенных, около 35 % во взрослом возрасте продолжают бояться только насекомых крупных размеров. Остальные же, предпочитают не посещать места большого скопления насекомых, например лес или озеро.

По общим результатам исследования, у 60 % опрошенных студентов сохранился детский страх в виде тревожного состояния или фобии. Большинству страх не мешает вести социальную жизнь и проявляется крайне редко. Однако, некоторые студенты испытывают дискомфорт в повседневной жизни и нуждаются в консультации специалиста. В результате будут подобраны индивидуальные программы с набором различных техник коррекции определенного страха, например гипноз или технология виртуальной реальности при страхе воды или высоты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бирнина, Е. Р.* Причины появления детских страхов, их виды и пути преодоления / Е. Р. Бирнина, В. В. Гордеева // Вестник Пензенского государственного университета. № 3. 2022. – С. 9–12.
2. *Кочетова Ю. А.* Психологическая коррекция детских страхов / Ю. А. Кочетова // Психологическая наука и образование. №1. 2012. – С. 1–4.
3. *Орлов, А. Б.* Психологические механизмы возникновения и коррекции внушенных детских страхов / А. Б. Орлов [и др.] // Вопросы психологии. №3. 2011. – С. 5–20.
4. *Судннеева Л. А.* К вопросу о детской тревожности и страхе / Л. А. Судннеева, Е. А. Шейкина // Балтийский гуманитарный журнал. № 4 (21). 2017. – С. 410–412.
5. *Kushnir, J.* Childhood Fears, Neurobehavioral Functioning and Behavior Problems in School-Age Children / J. Kushnir, A. Sadeh // Child Psychiatry Hum Dev. № 41. 2010. – P. 88–97.

## СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

**И. А. Сергей<sup>1,2</sup>, А. Н. Скамароха<sup>1,2</sup>, В. И. Шерикова<sup>1,2</sup>, Н. Д. Лепская<sup>1,2</sup>**

**I. Sergey<sup>1,2</sup>, A. Skamarokha<sup>1,2</sup>, V. Sherikova<sup>1,2</sup>, N. Lepskaya<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
inna.sergey.2015@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В данной статье показаны преимущества и недостатки использования альтернативных источников энергии.

This article shows the advantages and disadvantages of using alternative energy sources.

**Ключевые слова:** энергия, альтернативные источники энергии, экология, социально-экологические последствия.

**Keywords:** energy, alternative energy sources, ecology, socio-ecological consequences.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-347-350>

Ухудшение качества окружающей среды, истощение невозобновляемых природных ресурсов, повышение энергоэффективности определили постепенное увеличение доли альтернативных или так называемых «чистых» источников энергии. К ним относятся солнечная, ветровая, гидротермальная, приливная и другие источники энергии. Тенденцию к развитию альтернативных источников энергии формируют международные соглашения и акты; так среди основных целей развития тысячелетия ООН – обеспечение экологической устойчивости.

При текущем уровне потребления доказанных запасов нефти и газа человечеству хватит на 40–45 лет. За этот короткий срок человек должен научиться полностью обходиться без традиционного топлива. Это особенно



актуально для стран, у которых нет собственных запасов углеводородов. Основные проблемы альтернативной энергетики рассмотрим детально.

Но отказ от традиционных источников энергии (нефти, природного газа, угля) неизбежен по таким причинам:

- традиционные энергодобывающие технологии оказывают пагубное влияние на окружающую среду. Катастрофическое изменение климата вследствие их использования будет заметно уже в первые десятилетия XXI века;
- запасы нефти и других полезных ископаемых ограничены, процесс их восстановления займет длительный период времени;
- переход на альтернативные источники энергии позволит сэкономить топливные ресурсы планеты для переработки в химической и других отраслях промышленности;
- цены на некоторые виды альтернативной энергии уже сегодня заметно ниже стоимости на традиционную энергию;
- страна, которая первой во всем мире освоит альтернативную энергетику, сможет диктовать цены на топливные ресурсы.

Рассматривая возобновляемые источники энергии, следует начать с гидроэнергетики, которая уже более века не является альтернативным источником электроэнергии. Известно, что использование энергии рек во многих странах достигло впечатляющего уровня, но рост доли гидроэнергии в развитых странах сильно замедлился. Интересно, что его сдерживают не столько дороговизна ГЭС, сколько неблагоприятные экологические последствия. Крупные гидростанции, построенные на равнинных реках, привели к возникновению громадных мелководных водохранилищ. Оказались затопленными огромные пространства сельскохозяйственных угодий, сенокосных лугов. Сильно замедлилось течение воды, она прогрелась и зацвела. Почти прекратилась миграция проходных рыб. Все эти печальные последствия можно видеть на примере Волги, энергетические ресурсы которой практически исчерпаны, а река стала цепью слабопроточных водохранилищ.

Итак, уже на примере гидроэнергетики ясно, что сама по себе «возобновляемость» энергоносителя отнюдь не является гарантией его экологической чистоты.

Рассматривая ветровые электростанции понятно, что одна ветроустановка безобидна. Но как только человек захочет с помощью энергии ветра выработать, скажем, 20 % необходимой нашей стране электроэнергии (это примерно 200 млрд. кВт ч), окажется, что для строительства ветроэлектростанций потребуются весьма значительные площади земли; для изготовления десятков тысяч ветряных колес (диаметр примерно 100 м) и башен для них придется резко увеличить производство алюминия или стеклопластика, а это весьма грязные производства; при мощности одной установки 250 кВт возникает шум силой 50–80 децибел; ветряные колеса генерируют опасные инфразвуковые колебания.

Но главная неприятность, по-видимому, состоит в том, что из-за крупномасштабного использования энергии ветра он будет рассеиваться, изменится роза ветров и, следовательно, нарушится климатическое равновесие, перенос влаги и тепла не только в районе, где построена ветроэлектростанция, но и далеко за его пределами.

Интересно, что соображения об экологической опасности утилизации ветроэнергии уже нельзя считать чисто умозрительными. Власти Дании, где уже 5,5 % от всего потребления электроэнергии поставляют ветроэлектростанции, поставили задачу удвоить эту долю. Однако они натолкнулись на мощное сопротивление общественности и «зеленых». Дело в том, что из-за дефицита свободной территории строительство пяти сот ветроустановок (пять групп по сто штук в каждой) планируется на морском мелководье. В этом случае ликвидированы места традиционного обитания птиц, создается невыносимый шум и возникают помехи в распространении радиоволн, интенсивно мешающие работе телевизионных станций.

Различные схемы преобразования солнечной энергии в электрическую также сопряжены со значительным воздействием вредных факторов на природу. (Речь по-прежнему идет о широкомасштабном производстве энергии, о значительном вкладе солнечной энергии в энергетический баланс планеты.).

Для строительства солнечных станций потребуется отчуждение огромных площадей, не менее чем на 3 порядка больших, нежели для тепловых электростанций той же мощности. Но проблема заключается еще и в том, что любой способ преобразования солнечной энергии отличается высокой материалоемкостью, причем для изготовления оборудования требуется либо уже упомянутый экологически опасный в производстве алюминий (башни, баки, конструкции отражателей), либо еще более опасный кремний (материал для солнечных батарей). Напомним, что технология производства высокочистого кремния включает стадии его восстановления магнием из кремнезема и дальнейший синтез через трихлорсилан. Этот и иные способы получения кремния «солнечной» чистоты при крупнотоннажном производстве серьезно загрязняют окружающую среду, прежде всего – атмосферу.

Наконец, главная экологическая опасность состоит в том, что при отборе солнечного тепла будет происходить похолодание, пропорциональное количеству преобразованной солнечной энергии. Этим эффектом вполне можно пренебречь при строительстве маломощных домашних устройств, но не при проектировании крупных солнечных станций, которые должны вносить заметный вклад в энергетический баланс страны и занимать сотни квадратных километров. Как отметил академик П.Л. Капица, применение фотопреобразователей с высоким КПД (лишь такие выгодны экономически) может привести к понижению температуры, из-за которого начнется конденсация водяного пара в атмосфере и соответственно прекратят работу фотоприемники. Если ограничить КПД пятнадцатью процентами (уровень лучших современных преобразователей), то туман не будет появляться, но тогда под солнечные станции придется отчуждать еще более гигантские территории. Можно думать, что климат на этих территориях станет прохладнее [1].

Не меньшие, а возможно, и большие трудности экологического характера возникают при проектировании крупных геотермальных электростанций. Работа ГеоТЭС сопряжена с необходимостью сбрасывать горячую и более или менее минерализованную воду. Сброс такой воды чреват значительной опасностью для гидробионтов. Из-за повышения температуры уменьшается концентрация растворенного в воде кислорода – его уже недостаточно для многих рыб (форель, например, живет только в холодной воде), а минеральные примеси угнетают водные организмы. Отбор из скважин пароводяной смеси во многих случаях сопровождается выбросами токсичных газов; расширяющийся при выходе на поверхность пар вызывает сильный шум.

Из перечисленных факторов наиболее неприятна необходимость сбрасывать горячую минерализованную воду. Закон о недрах запрещает сброс такой воды в реки и рекомендует закачивать ее через специально пробуренные скважины обратно в земные недра. Но последствия этого приема при крупномасштабном производстве энергии прогнозировать очень трудно. Микроземлетрясения при закачивании воды уже зафиксированы.

Влияние ГеоТЭС на природу легко наблюдать на примере Паужетской станции на Южной Камчатке: в радиусе двух-трех километров от станции торчат голые, без коры и листьев, стволы каменной камчатской березы, далеко слышен неумолчный рев выходящего на поверхность пара. При этом мощность станции всего 11 мВт. Для сравнения отметим, что мощность главных турбин атомного ледокола «Арктика» – 55 мВт.

Использование энергии морских приливов также вызывает неблагоприятные экологические последствия: крупная приливная гидроэлектростанция представляет собой гигантскую плотину, затрудняющую водообмен между морем и морским заливом или устьем реки. Плотина препятствует естественной миграции гидробионтов, нарушает установившиеся за миллионы лет связи. Это, конечно, неприятно, но не катастрофично. Однако есть и более серьезные опасения: нетрудно рассчитать, что строительство группы приливно-отливных электростанций большой мощности (сотни гигаватт) – а именно такие нужны для компенсации дефицита горючих ископаемых – на доли секунды замедлит вращение Земли. Последствия этого трудно даже предположить.

Аналогичным образом можно рассмотреть любые другие альтернативные источники энергии, существующие или только намечаемые: управляемый термоядерный синтез, энергия растительной биомассы, энергия малых рек, энергия низкопотенциального тепла и т.д. Энергетика, основанная на любых источниках, независимо от того возобновляемые они или нет, не может быть экологически чистой, если масштаб производства энергии велик. Разумеется, экологическая опасность разных видов энергоносителей различна, но она есть всегда. Экологически чистой энергии не бывает.

Для оценки экологического ущерба, наносимого конкретным видом энергетики, совершенно недостаточно учитывать только чистоту энергоносителя. Необходимо брать в расчет воздействие на среду сооружений, машин и устройств для отбора и передачи энергии, а также технологий производства соответствующих материалов и аппаратуры. Широкое использование любого нового вида энергии требует создания новой подотрасли промышленности, включающей добычу сырья и его переработку, изготовление оборудования, утилизацию морально или физически устаревшего оборудования. Ясно, что новая подотрасль станет дополнительным источником загрязнения среды. Получается, что использование нового, пусть даже почти чистого энергоносителя влечет за собой шлейф заведомо нечистых технологий [2].

Так как Беларусь обеспечена собственными традиционными энергоносителями менее чем на 20 %, естественно, возникает потребность в таких источниках, чтобы как-то компенсировать недостаток собственных энергоресурсов. Между тем, вопросом возобновляемых источников энергии (ВИЭ) занимаются не только страны с энергетическими проблемами. Например, такие страны, как Германия, Швеция, Франция (всего более двадцати государств), создали Международное общество солнечной энергии. По прогнозам экспертов, к 2040 году мировое производство энергии от нетрадиционных ВИЭ будет составлять 82 процента от потребления энергии в мире. Общемировая тенденция способствовала тому, что нетрадиционные (альтернативные) источники энергии в Беларуси также получили развитие. Исследования показали, что в республике наиболее целесообразна солнечная энергия, так как более половины года в ней наблюдается переменная облачность, и только сто пятьдесят дней (в среднем) – пасмурные. Наибольшая эффективность светила наблюдается в период с апреля по сентябрь.

К сожалению, альтернативные источники энергии в Беларуси сегодня и в ближайшем обозримом будущем не смогут заменить в полном объеме традиционные энергоносители. Энергия солнца не способна стать таким источником в промышленных масштабах по простой причине – низкая плотность солнечного потока энергии. Даже с учетом того, что в Беларуси более половины года бывает солнечной, расчеты показывают: более 30 % территории республики необходимо отдать под солнечные электростанции, чтобы удовлетворить ее потребность в электричестве. Но даже при выполнении этого условия не следует забывать, что эти расчеты делались с учетом КПД станций, составляющего 100 %. В действительности сегодня этот показатель находится на уровне десяти-пятнадцати процентов. Получается, что в реальности под солнечные электростанции потребуется площадь всей Беларуси и часть территорий ее соседей-государств. Ко всему прочему, строительство и эксплуатация гелиостанций потребуют колоссальных затрат. Аналогичная ситуация наблюдается и с использованием энергии ветра, рек, геотермальных источников [3].

Альтернативные ресурсы условно неиссякаемы, но при этом они еще и не стабильны. Для работы ветрогенераторов нужен ветер, для солнечных батарей – свет, для работы ПЭС и ГеоЭС нужна определенная природная среда – это одна из ключевых причин, по которой человек пока не готов отказаться от традиционной энергетики.

Второй аспект, который нельзя не учитывать, – экономический. Если описать проблему кратко: для производства электричества необходимой мощности на ветряных электростанциях должно быть значительное количество турбин, аккумуляторы и солнечные батареи – все это стоит немалых средств.

Современная промышленная цивилизация неминуемо влечет за собой загрязнение среды обитания. Обеспечение растущего населения Земли энергией потребует увеличение ее производства в течение трех-четырех ближайших десятилетий примерно вдвое. С учетом невозможности создания полностью безотходной промышленности, интенсивного сельского хозяйства, энергетики, транспорта, быта, следует решать проблему минимизации загрязнений, понимая, что создать «чистую» цивилизацию в обозримый период времени не удастся. Для реализации полностью безотходной цивилизации необходимо связать воедино все производственные процессы на Земле, замкнуть их в одну гигантскую материально-энергетическую систему. Решение этой задачи принципиально возможно, но оно окажется под силу только нашим далеким потомкам. Наиболее вероятно, что основным энергоносителем следующего столетия станет природный газ, наступит так называемая газовая пауза, которая может продлиться очень долго, если учесть, что запасы метана в виде газовых гидратов как минимум в 10 раз превышают запасы всех вместе взятых горючих ископаемых на нашей планете. За период газовой паузы будет создан глобальный энергетический комплекс, отвечающий требованиям экологии и экономики, включающий возобновляемые энергоресурсы и управляемый термоядерный синтез.

Несмотря на то, что существуют определенные проблемы внедрения новых источников энергии, у них есть большие перспективы в будущем. Стремительное развитие научно-технического прогресса позволит создать более дешевые и экологичные установки, благодаря чему существенно снизится стоимость такой энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волчок, В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика / В. А. Волчок. – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. – 55 с.
2. Соколов Ю.И. Проблемы и риски возобновляемых источников энергии. Проблемы анализа риска / Соколов Ю.И. 2021;18(4):28-47
3. О возобновляемых источниках энергии: закон Республики Беларусь от 27.12.2010 № 204-З (ред. от 09.01.2018) / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 18.01.2018, 2/2529

### ФОРМИРОВАНИЕ МЕДИАГРАМОТНОСТИ СТУДЕНТОВ IT СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАНИЙ

### FORMATION OF MEDIA LITERACY OF STUDENTS OF IT SPECIALTIES THROUGH THE TECHNOLOGY OF COMPETENCE-ORIENTED TASKS

**Е. А. Николаенко<sup>1,2</sup>, Е. В. Кот<sup>1,2</sup>**

**E. Nikolaenko<sup>1,2</sup>, E. Kot<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
nikolaenko@iseu.by, elena.kot1991@gmail.com

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Медиаобразование является актуальной проблемой современной системы образования. Результатом медиаобразования является медиаграмотность. В качестве средства формирования медиаграмотности личности можно использовать технологию компетентностно-ориентированных заданий. Учебные занятия, построенные с использованием данной технологии, позволяют не только выявить, но и повысить уровень развития медиаграмотности по различным показателям.

Media education is an actual problem of the modern education system. The result of media education is media literacy. The technology of competence-oriented tasks can be used as a means of forming media literacy of a person. Training sessions built using this technology allow not only to identify, but also to increase the level of development of media literacy in various indicators.

**Ключевые слова:** медиаобразование, медиаграмотность, технология компетентностно-ориентированных заданий.

**Keywords:** media education, media literacy, technology of competency-oriented tasks.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-350-354>

Современное общество трудно представить без медиасредств массовой коммуникации (пресса, телевидение, кинематограф, радио, звукозапись, Интернет). Сегодня медиа является одной из важнейших сфер в жизни каждого человека. Для эффективного взаимодействия с информационными ресурсами, чтобы активно участвовать в жизни общества в эпоху информатизации, человек должен быть медиаграмотным. Медиаграмотность – это одна из характеристик образованной, думающей и способной к критическому мышлению личности.

В настоящее время медиа способствует социокультурному развитию личности практически во всех областях, включая, разумеется, образование. Поэтому не удивительно, что в педагогической науке сформировалось новое специфическое направление – медиаобразование.

Медиаобразование в современном мире рассматривается как процесс развития личности с помощью и на материале средств массовой коммуникации (медиа) с целью формирования культуры общения с медиа, творческих, коммуникативных способностей, критического мышления, умений полноценного восприятия, интерпретации, анализа и оценки медиатекстов, обучения различным формам самовыражения при помощи медиатехники. Медиаграмотность помогает человеку активно использовать возможности информационного поля телевидения, радио, видео, кинематографа, прессы, Интернета, помогает ему лучше понять язык медиакультуры.

Медиаобразование может быть реализовано в различных видах: как факультативные занятия или как отдельная дисциплина. Но самым распространенным способом включения медиаобразования в образовательный процесс – это интеграция в традиционные учебные дисциплины.

Результатом медиаобразования является медиаграмотность либо медиакомпетентность.

В качестве средства, формирующего медиаграмотность обучающихся может выступать технология компетентностно-ориентированных заданий, которая направлена на комплексное освоение знаний и способов практической деятельности, обеспечивающих успешное функционирование человека в различных сферах жизнедеятельности в интересах как его самого, так и общества в целом.

Формируемые при применении компетентностно-ориентированного подхода знания характеризуется не столько количеством известных фактов, сколько умением применять их в профессиональной области, в смежных областях, а порой и в ситуациях, в которых явно не прослеживается связь возникшей проблемы и предметного знания.

На современном этапе развития общества все более остро становится проблема потери интереса со стороны молодого поколения к традиционным системам и методам в образовании как к основному способу получения знаний. У современных обучающихся существует множество путей получения знаний, которые предоставляются различными средствами медиа. Медиа – обширное понятие, которое включает в себя всю совокупность технологических средств и приемов коммуникаций, служащих для передачи конкретному потребителю информационно-го сообщения в том или ином виде: текст, музыка, изображение [1].

Поэтому, одной из основных тенденций в образовании является формирование новой открытой информационно-образовательной среды, приходящей на смену традиционной закрытой. И не маловажное значение в этом переходе отводится медиаобразованию, как новому способу построения процесса обучения и воспитания. Но, как следствие данного явления, возникают новые вопросы и проблемы: как организовать образовательный процесс, какие методы и средства использовать?

В современных условиях огромное значение придается качеству высшего профессионального образования, повышению уровня знаний выпускаемых специалистов. Стратегия модернизации образования направлена на развитие ключевых компетенций в интеллектуальной, общественно-политической, коммуникационной, информационных сферах.

Компетентностный подход, акцентирующий внимание на результативности образования, заключается не в определенной сумме приобретенных студентом знаний или количестве усвоенной информации, а в способности действовать в различных проблемных ситуациях, осуществляя поиск, отбор и анализ медиаинформации. Поэтому развитие медиакомпетентности студентов выходит на одно из первых мест по значимости в осуществлении высшего профессионального образования.

Если рассматривать термин «медиаграмотность», то А.В. Федоров определяет медиаграмотность как совокупность навыков и умений, которые позволяют людям анализировать, оценивать и создавать сообщения в разных видах медиа, жанрах и формах [2].

В настоящее время профессиональная сфера четко обозначает требования к специалистам и ведет их отбор по результатам сформированности тех или иных компетенций – совокупность взаимосвязанных качеств личности, необходимых, чтобы качественно и продуктивно действовать в определенной области.

Основным средством формирования компетентностей выступают компетентностно-ориентированные задания (КОЗ).

Компетентностно-ориентированные задания – это по своей сути интегративная дидактическая единица содержания, технологии и мониторинга качества подготовки обучающихся. Таким образом, компетентностно-ориентированные задания включают в себя содержание и технологии обучения, преподавания и оценивания качества подготовки студентов в учебном процессе вуза, обеспечивающие эффективность формирования профессиональных компетентностей студентов. Отличие компетентностно-ориентированное задание от традиционных заданий заключается в том, что они моделируют практическую, жизненную ситуацию и строятся на актуальном для учащихся материале [3].

Алгоритм конструирования компетентностно-ориентированных заданий можно представить следующим образом:



1. Определение компетенции, которая будет формироваться или оцениваться.
2. Составление задачи на основе выбранной компетенции.
3. Поиск источников, позволяющих реализовать планируемую деятельность.
4. Формирование мотивов и стимулов.
5. Создание ключей или модельных ответов, шкал, бланков и инструкций к предъявлению результата решения задачи.
6. Самоэкспертиза задания.

В самом общем виде модель формирования медиаграмотности студентов средствами технологии КОЗ может включать следующие основные этапы:

- определение показателей медиаграмотности, которые должны быть сформированы средствами технологии КОЗ;
- констатация уровней развития и восприятия произведений медиакультуры в данной аудитории;
- овладение студентами креативными умениями на материале медиа и формирование полноценного восприятия медиатекстов (с учетом их видов и жанров, связей с различными искусствами и т.д.);
- развитие умений анализа медиатекстов;
- анализ результатов применения технологии КОЗ в формировании медиаграмотности студентов.

Выбор определенных способов деятельности, форм и методов проведения занятий при реализации технологий КОЗ как средства формирования медиаграмотности студентов будет зависеть от поставленных целей, от темы, от подготовленности учебной аудитории к проведению занятия.

Применение различных форм медиатехнологий имеет эффективное влияние на учебный процесс, способно повысить мотивацию, интерес студентов к обучению, а также способствует развитию творческой деятельности студентов. Все это помогает преподавателям, которые могут выбирать такие комбинации медиатехнологий, которые больше подходят к тому или иному занятию с учетом темы, целей, задач, средств представления материала, а также в подготовке и проведении занятий.

Таким образом, построение медиаобразовательного процесса средствами технологии компетентностно-ориентированных заданий дает возможность разработать учебные занятия, направленные на формирование и развитие медиаграмотности студентов. При этом занятия, построенные на по технологии КОЗ, дают возможность концентрироваться на определенных компонентах и показателях медиаграмотности, которые требуют коррекции или более углубленного изучения.

Оценка эффективности применения технологии компетентностно-ориентированных заданий в формировании медиаграмотности студентов осуществлялась в ходе педагогического эксперимента. В эксперименте участвовало 39 студентов 3-го курса, обучающихся по специальности «Информационные системы и технологии»

Цель педагогического эксперимента заключалась в оценке эффективности применения технологии компетентностно-ориентированных заданий в формировании медиаграмотности студентов.

Для достижения поставленной цели, необходимо было решить следующие задачи: провести первичную диагностику уровня развития медиаграмотности студентов; реализовать на учебных занятиях технологию компетентностно-ориентированных заданий с целью формирования медиаграмотности студентов; провести итоговую диагностику уровня развития медиаграмотности студентов.

Педагогический эксперимент включал в себя три этапа: констатирующий, формирующий и контрольный.

На первом этапе педагогического эксперимента была проведена первичная диагностика уровня развития медиаграмотности студентов.

В качестве диагностического инструментария было выбрано анкетирование с закрытыми вопросами (после конкретного вопроса следовали несколько вариантов ответов, из которых нужно было выбрать один или несколько). Это было связано с тем, что в силу своей структурированности анкеты закрытого типа требуют значительно меньшего времени на заполнение, чем аналоги открытого типа, и легче поддаются итоговой обработке.

Содержание вопросов в анкете формулировалось с учетом определения понятия «медиаграмотность», а также с учетом умений, характеризующих высокий уровень медиаграмотности личности.

Полученные на первом этапе педагогического эксперимента данные показали достаточно высокий уровень развития медиаграмотности студентов. Можно предположить, что данный факт связан с тем, что эксперимент проводился со студентами, обучающимися на технической специальности, притом и на старшем курсе. Тем не менее, анализ показывает, что по некоторым пунктам анкеты, связанными, в частности, с вопросами в области медиабезопасности и критической оценки медиатекстов, некоторые студенты показали недостаточно высокий уровень развития медиаграмотности.

Анализ результатов, полученных на предыдущем этапе педагогического эксперимента, позволил определить тематику учебных занятий, на формирующем этапе эксперимента. В качестве темы было выбрано направление – медиабезопасность. Медиабезопасность может быть определена как обеспечение информационной безопасности граждан, защита физического, умственного и нравственного развития, а также человеческого достоинства во всех аудиовизуальных медиа-услугах и электронных СМИ [1].

Далее описан алгоритм проведения занятий средствами технологии КОЗ по теме «Медиабезопасность».

*1 этап. Определение компетенции, которая должна быть сформирована.*

В соответствии с темой занятий, компетенция, которая должна быть сформирована у студентов может быть сформулирована следующим образом: учащийся должен знать все возможные виды угроз

при работе в сети Интернет; уметь оценить риски, связанные с разными видами угроз; уметь разрабатывать рекомендации по медиабезопасности для разных категорий людей. В общем виде данную компетенцию можно определить следующим образом: владеть медиаграмотностью и критическим мышлением в рамках проблемы медиабезопасности.

#### *II этап. Начальная диагностика медиаграмотности студентов.*

Следующий этап построения занятий по технологии КОЗ предполагает проведение диагностики начального уровня владения медиаграмотностью студентов по вопросам темы. Данный этап, также, как и формирующий этап педагогического эксперимента, может проводиться в виде анкетирования, содержащего вопросы по теме «Медиабезопасность». В связи с этим, на данном этапе, можно использовать данные, полученные в ходе первичной диагностики педагогического эксперимента, инструментарий которого также содержит вопросы, связанные с выбранной темой занятий.

После анализа анкетных данных преподаватель может оценить те области знаний студентов, по которым нужно проводить дополнительную работу. Это дает возможность подобрать нужные источники информации, продумать теоретические моменты, для того чтобы включить их в лекции или семинары.

#### *III этап. Теоретический.*

Следующий блок занятий – это теоретические лекции или семинары по теме. На данном этапе, в рамках учебной дисциплины «Основы защиты информации» было проведено лекционное занятие по теме «Медиабезопасность», в которой были определены и разъяснены ключевые понятия и теоретические аспекты по выбранной тематике.

Лекции на данном этапе также могут быть проведены как с помощью различных видов презентации, так и в виде вебинара или простой видео-лекции. Помимо основного содержания лекции, в ней должны быть рассмотрены все вопросы, которые вызвали затруднение у студентов при заполнении анкеты или те вопросы, которые показали низкий уровень знаний по теме.

#### *IV этап. Практический.*

Следующий шаг реализации технологии компетентностно-ориентированного задания заключается в применении студентами на практике своих навыков по теме «Медиабезопасность».

Проведение этого этапа выполнялось в несколько шагов:

Самостоятельная индивидуальная работа студентов во внеурочное время.

На этом этапе каждый студент должен был проанализировать всю информацию, которую он сможет найти в Интернете о каком-то из своих сокурсников. Преподаватель распределяет студентов по парам таким образом, чтобы никто из студентов не знал кто будет работать с его данными. На этом этапе студент должен оценить информацию своего сокурсника с точки зрения соответствия принципам безопасной работы в Интернете. Для этого он должен проанализировать все его аккаунты в социальных сетях: какая информация содержится, какого характера, соответствует ли она принципам информационной безопасности, какие угрозы и связанные с ними риски может содержать опубликованная в Интернете информация.

На данном этапе студенты получили четкие инструкции что делать, как делать и в каком виде предоставить результат работы. Самый удобный способ распространить эти инструкции среди студентов это через электронную почту, так как анкета, созданная с помощью Google-форм дает возможность сбора электронных адресов, формируя общий список. Также на этом этапе совершенствуются навыки студентов при работе с поисковыми системами.

Время, выделенное на данную работу может варьироваться от нескольких дней до нескольких недель, в зависимости от инструкций преподавателя.

Парная и групповая работа в аудитории.

Данный этап был организован после сбора студентами всей информации, согласно инструкции предыдущего этапа.

Далее была проведена парная работа студентов: кто искал и о ком искал. Результатом данной работы были сформулированные правила безопасной работы в Интернете, основанные на анализе собранной информации. Этот этап позволяет студентам оценить свою личную информацию, размещенную в сети Интернет со стороны, дает возможность выявить угрозы и оценить связанные с ними риски.

После парной работы было проведено обсуждение проблемы в группе. Здесь было проведено обсуждение тех правил, которые были сформулированы в группах и составление на их основе общего списка правил медиабезопасности.

На заключительном этапе практической части было проведено сравнение сформулированного на занятии списка правил с теми правилами, которые предлагают специалисты в области медиабезопасности.

#### *V этап. Заключительный. Итоговая диагностика.*

На заключительном этапе необходимо провести оценку сформированности компетенции, выбранной на первом этапе технологии КОЗ. Для этого целесообразно проведение конечного анкетирования, по результатам которой можно будет сделать выводы о степени сформированности нужной компетенции.

Данный этап был проведен в рамках контрольного этапа педагогического эксперимента.

Таким образом, анализ полученных результатов диагностики на констатирующем и контрольном этапе педагогического эксперимента показал эффективность применения технологии компетентностно-ориентированных заданий в формировании медиаграмотности студентов.

Построение медиаобразовательного процесса средствами технологии компетентностно-ориентированных заданий дает возможность разработать учебные занятия, направленные на формирование и развитие медиаграмотности студентов, концентрируясь на определенных компонентах и показателях медиаграмотности, которые требуют корректировки или более углубленного изучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров, А. В. Словарь терминов по медиаобразованию, медиапедагогике, медиаграмотности, медиакомпетентности / Под ред. А.В.Федорова. – Таганрог: Таганрог. Гос. пед. ин-та. 2010. – 63 с.
2. Федоров А. В. Медиаобразование и медиаграмотность : учеб. пособие / А.В. Федоров – Таганрог: Кучма, 2004. – 340 с.
3. Запрудский, Н. И. Современные школьные технологии-3 / Н. И. Запрудский. – Минск : Сер-Вит, 2017. –168 с.

### РОЛЬ ИДЕОЛОГИИ В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОЦИАЛИЗАЦИИ СТУДЕНТОВ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

### THE ROLE OF IDEOLOGY IN OPTIMIZING THE PROCESS OF ECOLOGICAL SOCIALIZATION OF STUDENTS IN INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION OF ECOLOGICAL PROFILE

**В. Н. Лучина<sup>1,2</sup>, В. В. Сивуха<sup>1,2</sup>, Е. Д. Пытляк<sup>1,2</sup>**

**V. Luchina<sup>1,2</sup>, V. Sivukha<sup>1,2</sup>, E. Pytliak<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
luchina-v@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

В современном мире все чаще поднимается вопрос о более пристальном внимании к экологической социализации молодых граждан. Проблемы охраны природы, экологической безопасности, экологической образованности всегда стояли в ряду самых существенных государственных вопросов, требующих постоянного внимания, так как от их решения зависит не только сохранение природы, но и здоровье людей, развитие экономики, благополучие страны и общества, человеческой цивилизации в целом. В экологической социализации студенческой молодёжи одной из ключевых идеологических задач является экологическое образование, призванное формировать экологическую сознательность личности и экогуманизм. Понятие «экологическое образование» предполагает собой образование-просвещение, которое является познанием симбиоза проблем взаимосвязей между человеком, природой, культурой и обществом, наделяет молодого человека пониманием природы как высшей общечеловеческой ценности.

In the modern world, the question of closer attention to the ecological socialization of young citizens is increasingly being raised. The problems of nature protection, environmental safety, environmental education have always been among the most significant state issues that require constant attention, since not only nature conservation, but also people's health, economic development, the well-being of the country and society, and human civilization as a whole depend on their solution. In the ecological socialization of students, one of the key ideological tasks is environmental education, designed to form the ecological consciousness of the individual and ecohumanism. The concept of "environmental education" presupposes education-enlightenment, which is the knowledge of the symbiosis of the problems of interrelations between man, nature, culture and society, endows a young person with an understanding of nature as the highest universal value.

*Ключевые слова:* социализация, экологическая социализация, идеология, экологическое образование и просвещение, экогуманизм, экологическая идеология.

*Keywords:* socialization, ecological socialization, ideology, ecological education and enlightenment, ecohumanism, ecological ideology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-354-357>

Социализация – это сложный процесс включения человека в социальную практику, приобретения им социальных качеств, черт, усвоения общественного опыта и реализации собственной сущности при выполнении определенной роли в практической деятельности. Лишь в различных видах деятельности – общественно-политической, экономической, управленческой, педагогической, культурной и т.д., выполняя определенную социальную роль, человек формируется как творец материальных и духовных благ, активный субъект социальных отношений – познавательного, ценностно-ориентационного, практического, коммуникативного и др. Процесс социализации не возможен без участия человека в том или ином виде деятельности, совместной с другими людьми.

Экологическая социализация – это процесс освоения личностью социальных норм, ценностей, традиций, поведения, основанных на экологических императивах и способах социальной жизни, а также формирование собственных ценностных ориентаций (самоактуализироваться и самореализовываться) в отношении к окружающей среде, природе, согласно экологическим этическим нормам [1].

В социологии процесс экологической социализации рассматривается с двух различных сторон: как процесс постепенного раскрытия заложенных в индивиде природных качеств и как результат внешнего воздействия среды, целенаправленного и ненаправленного воспитания. Такой подход позволяет раскрыть структуру процесса социализации, его объективные условия и субъективные факторы, механизмы, определить сферы жизнедеятельности, в которых и посредством которых человек становится личностью, объективирует себя в созданных им вещах, духовных ценностях.

Социальная среда с ее многогранностью является объективным основанием экологической социализации и в то же время основным системообразующим элементом данного процесса. Поэтому взаимодействие человека с социальной средой находится в центре внимания теоретической и прикладной социологии.

К информационно-образовательному механизму экологической социализации относят среднее и высшее образование, профессиональное обучение, массовую пропаганду, идеологическое просвещение, т.е. организованную и специализированную деятельность по распространению и усвоению определенной социальной информации, расширяющей, синтезирующей знание о взаимодействии природы и общества на всех уровнях от личностного до глобального.

Система форм, средств и методов материального и морального стимулирования студентов составляет стимуляционный механизм социализации, с помощью которого раскрываются потенциальные возможности и творческие силы человека.

В качестве регулятивно-контролирующего механизма социализации выступает система социальных эталонов. Реализация любого социального контроля предполагает некоторый эталон-ориентир, масштаб, меру. Эталоны – различные виды предписаний, норм, оценочных критериев, образцов, стереотипов мышления и поведения (нравы, обычаи, традиции) и т.д. Они определяют меру различных видов контрольно-регулирующего воздействия – предупредительного, предписывающего, оценочного и т.д. Различают два вида эталонов – деонтические и недеонтические. Деонтические эталоны определяют обязанности личности в отношении общества, класса, коллектива и носят императивный характер, предписывают должное поведение. Недеонтические эталоны, не предписывая поведения, стимулируют к подражанию. К этому виду эталонов относят различные жизненные и художественные образцы, духовные и материальные ценности [2]. В настоящее время в условиях единого культурного пространства намечается процесс универсализации ценностей. В основе такого процесса должно быть понимание значимости и необходимости для человечества формирования новой – экологической идеологии, осознание значимости экологической социализации, основывающейся на экологическом образовании и просвещении, так как природные (экологические) ценности определяют суть национальных экологических интересов, являются первоосновой существования и нормальной жизнедеятельности человека, условием удовлетворения его потребностей в воде, воздухе, пище, одежде, жилище, продолжении рода, в воспитании понимания красоты и гармонии природы [3].

Экологическая социализация, как любой другой социальный процесс, характеризуется периодичностью и стадийностью протекания. В отечественной социологической литературе в социализации выделяют три периода: дотрудовой, трудовой, послетрудовой; и четыре стадии: ранняя (от рождения до поступления ребёнка в школу), обучение (с момента поступления в школу до окончания очных форм общего и специального образования), социальная зрелость (основная стадия, охватывающая период активной трудовой и общественно-политической деятельности), завершение жизненного цикла (с момента прекращения постоянной трудовой деятельности в рамках официальной организации).

Безусловно, в процессе экологической социализации студентов важная роль отведена идеологии. Изучая тему «Общество и личность», студенты должны усвоить содержание понятий «индивид», «человек», «личность», обратив особое внимание на их общие и особенные характеристики. В структуре личности следует выделять взаимодействие разных элементов: социально-обусловленных качеств, психологических характеристик, биологических качеств и индивидуальных особенностей личности, а также уметь анализировать их динамику в ходе социализации личности.

Важнейшей идеологической задачей в экологической социализации в настоящее время, имеющей важное общественное и социально-политическое значение, является экологическое просвещение, призванное формировать экологическую сознательность личности. В настоящее время при оптимизации процесса экологической социализации молодёжи одной из ключевых идеологических задач, имеющих важное



общественное и социально-политическое значение, является экологическое просвещение, экологическая образованность, призванные формировать экологическую сознательность личности.

Национальные экологические интересы и ценности уникальны для каждой страны, отличают любую нацию. Воспитывают чувство патриотизма и национальной гордости, определяют жизнеспособность и самодостаточность страны. Они являются основой формирования системы национальных интересов в целом. Понятие «экологическое образование» предполагает собой образование, которое является познанием симбиоза проблем взаимосвязей между человеком, природой, культурой и обществом.

Главной задачей экологического образования является раскрытие содержания экологических понятий, категорий, законов, развитие интереса к экологии и потребностей к постоянному обновлению знаний, формирование экологического мышления и экологического сознания, традиций, уклада жизни, мировоззрения.

Преимуществом экологического образования является формирование духовно развитой личности студента и, вместе с тем, поддержание благоприятной природной среды. Экологическое образование формирует понимание молодым человеком своей настоящей роли в мире, в котором он живет, изменяет мотивы поведения студента на базе экспертного экологического знания и профессиональной компетенции, дает возможность моделирования в образах виртуальной реальности, чтобы выявить реальные последствия деятельности в конкретной ситуации.

Эффективное социально-гуманитарное экологическое просвещение студентов требует не только соответствующего научно-методического обеспечения, но и специальной образовательной политики. Рассматривая на примере социально-гуманитарного цикла дисциплин экологическое просвещение студентов, мы пришли к выводу, что в современных учреждениях высшего образования экологического профиля необходимо научно обоснованное управление экологическим образованием, соотносимое с существующими глобальными экологическими проблемами местной природной среды [4].

Все основные учебные дисциплины экологической направленности в социально-гуманитарном цикле обладают определенным эколого-образовательным потенциалом и могут внести значительный вклад в воспитание у обучающихся ответственного отношения к природной среде. Также эти учебные дисциплины формируют экологическую культуру студенческой молодежи. Реализация экоцентрической парадигмы экологического образования, оптимизация формирования у молодежи добросовестного и чуткого отношения к природе, повышение экологической культуры в целом возможно только с использованием результатов достижений современной науки о природе и человеке [4].

Устойчивое развитие человеческого общества требует углубленного изучения проблемы социальных отношений в области взаимодействия человека, общества и природы, процессов морально-этической регуляции отношений человека и природы, а также анализа общественного мнения о проблемах взаимодействия природы и социума, возможностей формирования экологической культуры при помощи экологического образования и воспитания. Все вышеперечисленное входит в содержание учебной дисциплины «Экологическая социология».

Целью экосоциологии является становление современного интегрального представления о процессе жизни и ее отдельных фрагментах (биологических и социальных), требующего объединения достижений естественных, гуманитарных и общественных наук.

Еще одной важной учебной дисциплиной социально-гуманитарного просвещения является «экологическое право», участвующее в процессе становления профессионального правосознания и правовой культуры обучающихся, формировании представления о правовом регулировании отношений по охране окружающей среды, обеспечении рационального природопользования и экологической безопасности, направленное на осуществление будущими выпускниками экологических специальностей успешной практической деятельности в современных условиях [5].

Как отрасль юридической науки экологическое право развивается на основе естественнонаучных и гуманитарных взглядов на взаимодействие общества и окружающей среды. Особенности экологического права как науки, отрасли права и отрасли законодательства обусловлены комплексным характером правового регулирования экологических отношений, существенным влиянием международно-правовых процессов на его становление и развитие и, как следствие, большим объемом нормативных правовых актов, входящих в систему экологического законодательства [5].

Среди учебных дисциплин социально-гуманитарного цикла, связанных с экологическим образованием и просвещением, стоит выделить «экологическую этику». Экологическая этика формируется на основе сопряжения экологических наук и этики. Ценностное и нормативное содержание экологической этики вырабатывается ею самой на основе нравственного опыта преодоления кризисных экологических ситуаций. Экологическая этика обладает уникальным образовательным и воспитательным потенциалом, который способен помочь любому человеку, независимо от его профессии, жить во благо себе и не во вред другим. Она охватывает предельно широкий круг проблем, рассматривая нравственные отношения человека и окружающей его среды и вырабатывая нравственные нормы его поведения – как в «человеческих», так и в «нечеловеческих» ситуациях. При этом понятия милосердия, ответственности, сострадания становятся не просто моральным долгом, а единственно возможным содержанием и мотивом действий человека, его жизненным кредо. Экоэтика делает человека Человеком, способным проявлять любовь и уважение к Природе, ответственность перед ней [4].

Экологическое образование – это совершенно особенное образование, так как оно неразрывно связано с экологической социализацией и экологической идеологией. Экологическая идеология зиждется на трех принципах:

1. Принцип деятельности – учет во всех сферах человеческой деятельности реакции природной среды на вносимые в нее изменения (концепция прав природы);

2. Нравственный принцип – деятельность вместе с природой, учитывающая её возможности и законы функционирования (а не деятельность, ломающая кругообороты веществ в природе, трофические уровни и уничтожающая её составные части);

3. Юридический принцип равноправия (находит нравственное обоснование и завершение в экологической этике, позволяющей сформулировать то, что можно назвать «золотым правилом» экологии.

Экологическая идеология не замыкается в рамках взаимодействия человека с природной средой, а вбирает в себя все основные проблемы человеческого существования. Новизна экологической идеологии в том, что она преодолевает не только классовые, национальные и религиозные разногласия, но и свойственные всем существующим идеологиям антропоцентризм, ориентируясь не только на общечеловеческие, но и общежизненные ценности, единые для человечества и природы. Это идеология жизни, солидарности человека и природы [3].

Итогом полученного экологического образования является личность, способная применять полученные знания, умения и навыки, а также сформированные личностные качества для решения задач не только в узкопрофессиональной деятельности, но и в высокоморальных вопросах жизни социума, требующих сопереживания и принятия креативных и неординарных решений в профессиональной деятельности и повседневной жизни.

Таким образом, экологическая социализация (образование, воспитание) является одной из приоритетных задач государственной идеологии. Идеологи должны развивать духовные потребности человека в общении с природой, экогуманизм, формировать нетерпимое отношение к действиям, причиняющим вред окружающей среде, понимать необходимость соблюдения экологических требований, норм и правил при взаимодействии с природой, учить любить и ценить её. Идеология экологической социализации граждан должна быть направлена на осознание целостности природы, понимания её ценности как одного из основных источников развития производства и культуры, её взаимосвязи в системе «человек – природа – общество».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аутлева, А.Н. Экологическое образование и воспитание в системе экологической социализации личности / А.Н. Аутлева // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – Адыгея, 2013. – С. 93–99.

2. Лучина, В.Н. Духовно-теоретические основы и условия формирования идеологии Белорусского государства как неотъемлемые составляющие национальной безопасности / В.Н. Лучина // Материалы международной научно-практической конференции: «Национальная безопасность: интересы личности, общества, государства» / Акад. М-ва внутр. дел Республики Беларусь. – Минск, 2011. – С.186-190.

3. Лепская, Н.Д. Экологическая психология – основа для формирования экологической идеологии и культуры / Н.Д. Лепская // Экопсихологические исследования-6: экология детства и психология устойчивого развития: сборник научных статей / отв.ред. В.И. Панов. – М.:ФГБНУ «Психологический институт РАО»; Курск: Университетская книга, 2020. – С. 387-391.

4. Экологическая этика : учеб. пособие / Т. В. Мишаткина [и др.] ; под общ. ред. С.П. Кундаса и Т. В. Мишаткиной. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 332 с.

5. Лучина, В. Н. Экологическое право : учеб. пособие. – Минск : МГЭИ им.А. Д. Сахарова БГУ, 2022. – 136 с.

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, КАК КЛЮЧЕВАЯ ДЕТЕРМИНАНТА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ И РЕГИОНОВ DIGITALIZATION OF THE HOUSING AND COMMUNAL SERVICES ECONOMY OF THE REPUBLIC OF BELARUS AS A KEY DETERMINANT OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE INDUSTRY AND REGIONS**

**В. Н. Лучина, С. И. Пупликов, В. В. Сивуха**

**V. Luchina, S. Puplikov, V. Sivukha**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
sivuxa.2001@mail.ru

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Энергосбережение – один из основополагающих факторов устойчивого развития как отдельных отраслей, так и национальной экономики в целом. Применение инструментов цифровизации и информатизации позволит более эффективно исследовать процессы эксплуатации современного жилого фонда в Республике Беларусь и разработать компьютерную имитационную модель для подбора параметров экономической и энергетической эффективности элементов несущих и ограждающих конструкций и инженерных сетей жилых зданий. В данной статье определены три важнейших направления совершенствования организационно-экономической структуры и технологической модели (регламента) проведения капитального ремонта и тепловой модернизации жилых домов для увеличения эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных домов.

Energy conservation is one of the fundamental factors of sustainable development of both individual industries and the national economy as a whole. The use of digitalization and informatization tools will make it possible to more effectively investigate the processes of operation of modern housing stock in the Republic of Belarus and develop a computer simulation model for the selection of parameters of economic and energy efficiency of elements of load-bearing and enclosing structures and engineering networks of residential buildings. This article identifies three major areas of improvement of the organizational and economic structure and technological model (regulations) of capital repairs and thermal modernization of residential buildings to increase the operational reliability and energy efficiency of apartment buildings.

*Ключевые слова:* жилищно-коммунальное хозяйство, энергоэффективность, технические нормативные правовые акты, эксплуатационная надежность.

*Keywords:* housing and communal services, energy efficiency, technical regulations, operational reliability.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-357-360>

Понятие «устойчивого развития» имеет большое множество толкований, но в настоящее время большинство ученых поддерживают формулировку, опубликованную Международной комиссией по окружающей среде и развитию в докладе «Наше будущее» (1987 г.). В этом докладе устойчивое развитие определяется как развитие, позволяющее удовлетворять потребности нынешнего поколения и не ставящее под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Но не обходится и без критики в адрес понятия «устойчивое развитие», которая основывается на том, что считается несовместимой «устойчивость» с «развитием», однако устойчивость не означает отсутствие роста, так как устойчивое общество проявляет интерес к качественному развитию, а не к экстенсивному росту. Качественное развитие возможно только при реализации инноваций, которые являются фактором интенсивного экономического роста.

Энергосбережение – один из ключевых факторов устойчивого развития как отдельных отраслей, так и национальной экономики в целом. Рассматривая отрасль жилищно-коммунального хозяйства, энергосбережение, достигаемое с помощью применения инноваций, выступает как органический комплекс процессов, результатов и эффектов, которые взаимосвязаны между собой созданием и последующим распространением инноваций, приводящих к повышению социально-экономической эффективности и формированию системы устойчивого развития [1].

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) – важнейшая многоотраслевая социально-экономическая сфера деятельности, сориентированная на обеспечение комфортных условий проживания граждан и создание благоприятной окружающей среды для жизни людей.

Сфера ЖКХ включает в себя жилищное хозяйство, теплоэнергетику, водоснабжение и водоотведение, обращение с твердыми коммунальными отходами (далее – ТКО), санитарную очистку, благоустройство и озеленение различных населенных пунктов.

На семинаре «О совершенствовании и развитии жилищно-коммунального хозяйства страны», прошедшем 19–20 октября 2017 г., были рассмотрены основные направления повышения эффективности работы ЖКХ, которые стали базисными для Концепции совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года (далее – Концепция). Цель этой Концепции – определение направлений дальнейшего развития и совершенствования жилищно-коммунального хозяйства в среднесрочной перспективе для предоставления высококачественных жилищно-коммунальных услуг (далее – ЖКУ) потребителям и обеспечения комфортных условий проживания [2].

Перед Правительством Республики Беларусь и местными органами власти поставлены конкретные задачи по решению имеющихся проблем в ЖКХ (совершенствование структуры управления отраслью, проведение тарифной политики, использование местных видов топлива в теплоэнергетике, тепловая модернизация жилищного фонда, замена лифтового оборудования в жилых домах, улучшение качества питьевой воды, наведение порядка на полигонах ТКО и внедрение новых подходов к обращению с ТКО).

В условиях ограниченности финансовых ресурсов важнейшей задачей государственной экономики является вопрос иммобилизации дополнительных денежных средств для решения проблем, препятствующих устойчивому развитию жилищно-коммунального хозяйства.

Применение инструментов информатизации и цифровизации позволит более эффективно исследовать процессы эксплуатации современного жилищного фонда Республики Беларусь и создать компьютерную имитационную

модель для подбора параметров экономической и энергетической эффективности элементов несущих и ограждающих конструкций жилых зданий и инженерных сетей. С разработкой такой компьютерной модели появится возможность выявить резервы минимизации эксплуатационных затрат, разработать условия для снижения тарифов ЖКХ и определить социально-рациональный уровень тарифов (техническое обслуживание, капитальный ремонт, теплоснабжение (отопление), техническое обслуживание лифтов и электроэнергия на их работу).

Для реализации этого необходимо в приоритетном порядке решить следующие наиболее актуальные на данный момент задачи:

- проанализировать мировые тенденции в вопросах эксплуатации жилищного фонда в зданиях старой и современной постройки;
- произвести аналитический обзор передовых теоретических разработок и новейших практик существующих программно-технических решений для систем электронной паспортизации обслуживаемых ЖКХ объектов и управления многоквартирными домами;
- провести сравнительный анализ действующего международного и национального законодательства в данной сфере и разработать практические подходы по совершенствованию действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА), направленных на обеспечение максимально высокого уровня энергетической эффективности процессов в ЖКХ и разработку единого электронного паспорта;
- создать алгоритмизацию и разработать экономико-математическую модель расчёта показателей энергетической и экономической эффективности элементов несущих и ограждающих конструкций жилых зданий и инженерных сетей;
- разработать компьютерную имитационную модель для подбора параметров экономической и энергетической эффективности элементов несущих и ограждающих конструкций и инженерных сетей жилых зданий, определить социально-рациональную величину тарифов (техническое обслуживание, капитальный ремонт, теплоснабжение (отопление), техническое обслуживание лифтов и электроэнергия на их работу) [3].

В ходе анализа последних мировых трендов по эксплуатации жилья было выявлено, что простая интеграция инженерных коммуникаций жилищ в единую систему управления «Умный дом» позволяет достичь снижения эксплуатационных расходов на следующие виды коммунальных услуг: до 30 % на электроэнергии, до 40 % – на воде и до 50 % – на отоплении.

В Республике Беларусь ряд компаний-резидентов проводят работы по автоматизации и диспетчеризации процессов в ЖКХ, однако эпизодический характер результатов их исследований означает, что эти разработки не могут быть применены в целом на уровне отрасли.

На макроуровне новые разработки в данной сфере позволят повысить эффективность государственной жилищной политики и поспособствуют повышению уровня экономического и социального развития Республики Беларусь. На микроуровне, по приблизительным оценкам, общехозяйственные эксплуатационные расходы будут снижены до 30%, что в масштабах Республики Беларусь составит экономию оборотных средств предприятий ЖКХ около 60 млн. долл. США ежегодно, что в свою очередь создаст конкретные предпосылки для «снижения» жировок граждан страны.

Для решения проблем сферы жилищно-коммунального хозяйства согласно принятой Концепции определены наиболее важные направления совершенствования и развития ЖКХ, в частности, повышение качества жилищно-коммунальных услуг (ЖКУ), эффективности использования жилищного фонда и инфраструктуры ЖКХ в результате ряда мероприятий, среди которых выделяют два основных:

- расширение перечня работ по текущему ремонту жилых домов, выполняемых за счет средств собственников жилых помещений, и постепенный переход к полному финансированию перечня этих работ собственниками;
- создание механизмов реализации энергоэффективных мероприятий в жилых домах.

Приоритетной целью данных мероприятий является повышение эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных домов. Для достижения поставленной цели необходимо оптимизировать технологическую модель (регламент) капитального ремонта и термомодернизации, усовершенствовать механизмы финансирования, включая кредитование за счет средств финансово-кредитных организаций, в числе которых и международные, с постепенной минимизацией и исключением перекрестного субсидирования оплаты используемой тепловой энергии [4].

Для повышения эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных жилых комплексов необходимо выделить три наиболее важных направления совершенствования организационно-экономической структуры (финансирование работ) и технологической модели (регламента) проведения капитального ремонта и тепловой модернизации жилых домов:

1. Разработка новых подходов к организации и проведению капитального ремонта и тепловой модернизации.
2. Усовершенствование системы финансирования (включая различные формы рассрочки), кредитования и оптимизация (в части их снижения) бюджетных расходов на реализацию мероприятий по повышению эксплуатационной надежности и энергоэффективности жилых домов.
3. Усовершенствование технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации.

Суть первого направления заключается в повышении эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных жилых домов за счет разработки новых подходов к организации и проведению капитального ремонта и термомодернизации. Для реализации этого направления необходимо решить следующие задачи:



– принятие индивидуальных решений для каждого жилого дома с учетом мнения проживающих (заявительный, согласительный принцип собственников) при реализации мероприятий по увеличению эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных жилых домов, основанных на достижении максимальной энергоэффективности;

– создание большого сектора программ с видами работ по повышению энергоэффективности жилых зданий в ходе проведения мероприятий по повышению эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных жилых домов;

– привлечение особого внимания населения к сохранности и эксплуатации жилищного фонда;

– организация поквартирного приборного учета и регулирования расхода различных видов энергии в эксплуатируемом жилищном фонде;

– разработка высокоэффективной системы автоматического дистанционного мониторинга энергетической эффективности, соответствующей установленному классу многоквартирных жилых домов.

Второе направление основано на практике совершенствования системы финансирования, кредитования и оптимизации бюджетных расходов на организацию и проведение мероприятий по повышению эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных жилых домов, направленная на обеспечение постепенного (эволюционного) перехода от действующей системы финансирования (распределительной) капитального ремонта к инновационным формам финансирования данных работ (накопительная, смешанная). Для достижения данного направления предлагаются такие решения, как:

– организация индивидуальных счетов (облачного или виртуального) для каждого жилого дома, с целью учета начисленных накоплений на квадратный метр созданного объекта недвижимости и направленных на проведение капитального ремонта и тепловой модернизации.

– привлечение внебюджетных источников финансирования для проведения работ по капитальному ремонту и тепловой модернизации жилищного фонда страны.

– разработка новых механизмов и программ финансирования мероприятий, направленных на повышение эксплуатационной надежности и энергоэффективности многоквартирных жилых домов (лизинг, заемные и привлеченные средства финансово-кредитных организаций, в том числе и международных, рассрочки для населения и другие механизмы и формы в рамках законодательства).

Основу третьего направления должна сформировать система совершенствования технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации. Основной задачей этой системы должна стать разработка новых (при необходимости) и совершенствование действующих технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации с целью повышения энергоэффективности жилищного фонда Республики Беларусь и организации методов определения класса энергоэффективности здания. Класс энергетической эффективности здания определяется с учетом климатических условий отдельных регионов Республики Беларусь, назначения здания, установленных параметров температурно-влажностного режима помещений и воздухообмена, параметров солнцезащиты, работы систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, электроснабжения и кондиционирования воздуха, использования энергии от возобновляемых источников. Для создания системы совершенствования ТНПА необходима разработка новых технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, направленных на определение энергоэффективности жилого фонда, проведение энергоаудита и составление других документов, позволяющих поддерживать и определять класс энергоэффективности здания в процессе эксплуатации. Также, стоит отметить, что уже были внесены изменения в Положение о порядке планирования, проведения и финансирования капитального ремонта жилищного фонда, утвержденное постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 апреля 2016 г. № 324 (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 27.04.2016, № 5/41996), в части включения перечня работ по термомодернизации, направленных на повышение энергоэффективности здания [5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Шилова Е.В.* Инновации как фактор обеспечения устойчивого развития социально-экономических систем // Вестник Пермского Университета. Серия «Экономика». – 2015. – № 2 (25).

2. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Минск. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/> – Дата доступа: 05.2018.

3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21 апреля 2016 г. № 324 «Об утверждении Положения о порядке планирования, проведения и финансирования капитального ремонта жилищного фонда» [Электронный ресурс] / Ваш гид в законодательстве Республики Беларусь – Минск. – Режим доступа: <http://kodeksy-by.com> – Дата доступа: 08.2018.

4. *Пупликов, С.И.* Мировые тренды организации экологического обеспечения жилищного фонда в области реализации работы с твердыми коммунальными отходами (Промежуточный отчет) // Ин-т жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси; рук. темы В.О. Китиков. -Минск, 2018. – 315 с. – № ГР 20181813 от 02.11.2018 г.

5. *Пупликов С.И.* “ Резервы инновационных трансформаций в жилищно-коммунальном хозяйстве Республики Беларусь” / С.И. Пупликов/ “Система ”наука-технологии-инновации”: методология,опыт,перспективы ”, материалы Международной науч.-практ. конф., , Минск 23–24 сентября 2021 г. / Центр системного анализа и прогнозирования НАН Беларуси. – Минск, 2021. – С. 534–535.

**МОРАЛЬНО-ПРАВСТВЕННАЯ РОЛЬ  
ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ  
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА**

**MORAL AND MORAL ROLE OF DIGITAL CULTURE IN THE EDUCATIONAL  
PROCESS IN CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF SOCIETY**

**Ю. Г. Ермолович,  
Yulia Ermolovich**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
ermolovich\_y@iseu.by*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

В данной статье представлен анализ морально-нравственной роли цифровой культуры в социуме в целом, и в образовательном процессе в частности, под воздействием цифровой трансформации общества. Рассмотрены мировоззренческие идеи гуманизма, трансгуманизма и постгуманизма в качестве возможных путей развития социума и образования.

This article presents an analysis of the moral and moral role of digital culture in society as a whole, and in the educational process, in particular, under the influence of the digital transformation of society, the worldview ideas of humanism, transhumanism and post-humanism as possible ways of development of society are considered and education.

*Ключевые слова:* цифровая культура, гуманизм, трансгуманизм, постгуманизм, цифровая трансформация образования.

*Keywords:* digital culture, humanism, transhumanism, post-humanism, digital transformation of education.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-361-365>

В современном обществе интенсивно происходит цифровая трансформация образования. При этом цифровизация активно воздействует на все сферы жизни общества, включая образовательную среду, трансформируя ее. Актуальность темы исследования обусловлена тем, что в современных реалиях проблематика взаимодействия человека и технологий перешла из стадии философско-теоретической в стадию практической дилеммы современного общества. Нынешний период просвещения характеризуется небывалым развитием науки и её практических приложений. Причём развитие наук сопровождается их взаимодействием друг с другом – как двусторонним, так и многосторонним, появлением новых научных направлений, синтезирующих физику с астрономией, биологию – с генной инженерией, искусственный интеллект – с изучением когнитивных процессов, нанотехнологии – с получением новых материалов с заданными свойствами. Возникают НБИКС-технологии, (объединения нано- и биотехнологий, искусственного интеллекта, когнитивных и социальных технологий) [1].

Целью работы является анализ влияния цифровой культуры на морально-нравственные ценности в образовательном процессе в условиях цифровой трансформации общества.

Развитие и распространение информационно-коммуникационных технологий, глобализация и цифровизация правовых, экономических и политических сфер социума сформировала предпосылки для зарождения новых ценностных констант в современном обществе пост-правды [2]. Соответственно следует уделить внимание научным трудам, посвященным проблематике переосмысления человека, его границ и нормативных определений. В общих чертах рассмотрим пути развития технологического мира, существующие на данном этапе развития человечества и их влияние на образовательную систему (Таблица 1).

Гуманизм известен издавна. Существует античный гуманизм (Сократ, Конфуций), теистический (Фома Аквинский), гуманизм Просвещения (Пико делла Мирандола), гуманизм научного коммунизма (К. Маркс), атеистический гуманизм (Ж.-П. Сартр). Данные виды гуманизма отражают исторические периоды, в которые они возникали: античное просвещение, средневековое просвещение, просвещение Нового времени, коммунистическое и модернистское просвещение. Просвещение в данном случае характеризуется распространением

на том или ином этапе истории определённой идеи отношения человека с миром. Большинство критиков утверждает, что стремление поставить человека в центр мироздания привело к эгоцентризму человеческой природы и как следствие большому количеству войн во времена главенствования парадигмы гуманизма: колонизация Америки, Индии, юго-восточной Азии, первая и вторая мировые войны. Соответственно на смену гуманистическим ценностям в начале XX века приходят постгуманистические [3].

Таблица 1

*Сравнительная характеристика философско-мировоззренческих моделей развития человека в условиях системы образования*

| Параметры сравнения      | Гуманизм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Трансгуманизм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Постгуманизм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Основные постулаты       | Гуманизм как направление возник во Флоренции в середине XIV века (Ренессансный гуманизм).<br>Основная идея – улучшение человеческой природы через изучение античной литературы; провозглашение свободы волеизъявления человека.<br>Провозглашение принципиальной доброты человеческой природы и равенства всех людей, независимо от их рождения и принадлежности к тому или иному сословию. | Трансгуманизм как направление возник в начале XX века.<br>Основная идея – улучшение умственных и физических возможностей человека через использование достижений науки и техники.<br>Цель – устранение нежелательных аспектов человеческого существования, (страдания, болезни, старение и смерть).<br>Бесконечное совершенствование человека, на основе новейших достижений научно-технического развития. Трансгуманисты предлагают совершенствовать тело и разум человека при помощи технологий. | Постгуманизм как направление мировоззрения возник в начале XX века. Основная его идея – это незавершенность эволюции человека. Постгуманизм является альтернативой классическому гуманизму. Эволюционное развитие приводит к становлению постчеловека с биотехнологическим апгрейдом, достижением физического бессмертия. При этом постчеловек непрерывно совершенствуется, не имея законченной формы. Это открывает возможности создания новых видов человека в будущем с биологическим неравенством между ними, причем новые виды человека обладать разными правами. |
| Место человека           | Человек первичен, природа и техника вторичны.<br>Антропоцентризм.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Науку и технику рассматриваются в качестве инструментов для продления жизни и преодоления любого несовершенства человека.<br>Антропоцентризм с элементами технократизма.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Отказ от антропоцентризма.<br>На смену человеку приходят новые формы технологической жизни. человек в условиях постгуманизма перестает быть «мерой всех вещей».                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Представление о человеке | Человек – венец творенья, познания и природы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Соединение человека и техники.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Человек перестал быть центром вселенной.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                          | Человек уже совершенное существо и не требует технических дополнений, гармонично развивается как физически, так и духовно, нравственно.                                                                                                                                                                                                                                                     | В терминологии FM-2030 трансчеловек – это «переходный человек», тот, кто в силу использования технологий, культурных ценностей, и образа жизни составляют эволюционную связь с грядущей эрой постчеловечества. Для трансчеловека свойственно широкое использование протезов, пластической хирургии, интенсивное использование телекоммуникаций, космополитизм, андрогинность, усиление возможностей разума с помощью специальных биотехнических устройств.                                         | Постчеловек является непрерывно совершенствующимся существом, у которого нет законченной формы (Социум роботов, киборгов, искусственных интеллектов или иных форм существования человека).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| Параметры сравнения     | Гуманизм                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Трансгуманизм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Постгуманизм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сторонники              | Петрарка (считается первым гуманистом), Цицерон («гуманизм» – «studia humanitatis»), Аристотель, Э. Роттердамский, Т. Мор, И. Рейхлин, Л. Валла, Пико делла Мирандола, Л. Да Винчи, Рафаэль, Микеланджело, Монтень, Рабле, Л. Бруни, У. Шекспир, Ф. Бэкон, Л. Вивес, Сервантес, Ф. Нитхаммер, А. Дюрер. | Д. Хаксли (ввёл в обиход термин «трансгуманизм»), Дж. Б. С. Холдейн, М. Мор, Дж. Д. Бернал, О. Стэнлдон, С. Н. Корсаков, Ф. Уиллард, Н. Фёдоров., Р. Эттингер, Э. Купер, Ф. М. Эсфендиари (ФМ-2030), Э. Тóффлер, А. Тьюринг, Д. фон Нейман, Р.Филлипс, Э. Дрекслер, Н. Бостром, Д. Пирс, О. Хаксли, З. Иштван, Р. Курцвейл, С. Зоргнер | И. Хассан (впервые использовал термин «постгуманизм»), Р. Брайдогги, Б. Латура, Г. Харман, А. Уайтхеда, Д. Чалмерса. Р. Грусин К. Вулфа, Ф. Феррандо, С. Хоружего, В. Ханея. М. Фуко. Идеи Ф. Ницше о преодолении человеком самого себя, его воли к власти и новой морали были восприняты и расширены в рамках постгуманизма. |
| Образовательные системы | Преобладание гуманистической педагогики. Которая ориентирующееся на личность ученика, на учёт его индивидуальных интересов и способностей.                                                                                                                                                              | Информационное общество, множество источников информации и средств связи, Это не средства получения массового знания, источником которого была школа и стоящие за ней наука и социальная практика, а средства массовой информации такие, как Интернет , стали основой учебно-процесса в современном образовании.                       | Техноантропоцентризм с доминированием искусственной технической среды вполне реально приведёт к тому, что искусственный коллективный интеллект обучает постчеловека.                                                                                                                                                          |

Желание человека приобретать новые способности такое же древнее, как и сам наш вид. У нас есть стремление всегда расширить границы своего бытия, существования, будь то социальные, географические, или же мыслительные. По крайней мере у части людей есть желание всегда искать способ преодоления препятствий и ограничений на пути к ликвидации лимита человеческой жизни и счастью. Церемониальное захоронение и сохранившиеся фрагменты религиозных писаний свидетельствуют о том, что доисторические люди были глубоко встревожены смертью близких. Хотя вера в загробную жизнь была обычным явлением, это не исключало попыток продлить настоящую жизнь, что впоследствии и прослеживается в концепции трансгуманизма, а позже и постгуманизма. Трансгуманистические проекты нацелены на усиление человеческого влияния путем трансформации человека в иные, более мощные и жизнеспособные формы. Трансгуманизм предполагает превращение человека биопсихосоциального в человека киберпсихосоциального. Особенно перспективными направлениями считаются: нанотехнологии; биотехнологии, геновая инженерия, информационные технологии, разработки в области искусственного интеллекта (нейросети), перенос сознания в память компьютера, виртуальная реальность, крионика, препараты, улучшающие память, концентрацию внимания, бодрствование и настроение; препараты для повышения работоспособности, косметическая хирургия, протезирование, антивозрастная медицина и др. Как результат, развитие современной системы здравоохранения породило новые этические дилеммы – отключение систем жизнеобеспечения, донорство органов, распределение ресурсов, аборт и предварительное уведомление о патологиях у эмбриона, отношения между врачом и пациентом, протоколы для получения информированного согласия и работы с некомпетентными пациентами [4].

Статус трансгуманизма на данный момент является дискуссионным: является ли трансгуманизм радикальной формой гуманизма, отдельным феноменом или же ответвлением постгуманизма.. В последнее время существует тенденция к смещению фокуса внимания с антропоцентризма и гуманизма на нечеловеческие формы существования, смыслы и ценности. В целом, основная идея постгуманизма заключается в ликвидации любой иерархичности при одновременном стремлении к возможности создания искусственных существ, превосходящих человека. Понимание постгуманизма неоднозначно. Одни считают, постгуманизм противоположностью гуманизму и он являет собой новый виток его развития в постмире; другие связывают его с потерей самого человека, его корней, веры и ценностей. Постгуманизм, являясь частично образованным от гуманизма, с одной стороны, осуществляет попытку уйти от него, а с другой стороны – исправить его недостатки (противоречия, несправедливость). Эволюция человека не завершена, но под этой эволюцией не всегда следует понимать движение вперед, также как под усложнением – обязательный прогресс. Вполне возможно, это просто движение в сторону от примитивной линейной траектории.

Большинство специалистов отмечают, что общество сейчас практически перешло в фазу трансгуманизма, что существенно влияет на образовательную систему. Современный мир характеризуется небывалым развитием науки и её практикоориентированных приложений. Причём развитие наук сопровождается их активным



взаимодействием друг с другом и взаимодополнением, что приводит к накоплению гигантских объёмов цифровых данных, что впоследствии влияет на трансформацию общественных реалий и образовательной системы.

Важную роль в нынешнем обществе и образовании играет Интернет. Он стал средством, позволяющим заменять естественную память человека внешней памятью. В результате у школьников и впоследствии у студентов стала утрачиваться, либо видоизменяться память (из долговременной в кратковременную) и мышление (преобладающее ассоциативно-образное мышление практически стало клиповым). Постоянный и непрерывный доступ к сети Интернет всегда присутствует и потому в исправном состоянии не осознаётся. Так, наличие калькулятора освобождает от необходимости заучивания таблицы умножения, печатная клавиатура – от овладения основами каллиграфии, а наличие мобильного Интернета, хранящего сведения о чём угодно, – от необходимости развития памяти. В связи с развитием компьютерных технологий происходит утрата навыков письма, а чистописание и каллиграфия уже практически исчезло из образовательных программ. Очевидно, что при переходе на цифровую форму образования, письмо от руки будет низведено до минимума, что является довольно большой проблемой. Это влияет на навыки чтения, моторики и координации. При письме задействованы участки мозга, отвечающие за интерпретацию сенсорных ощущений и формирование речи. А у тех, кто рукой не пишет, эти участки включаются гораздо реже. В коре головного мозга в центре Брока (участок, отвечающий за складывание букв в слова и их распознавание), активизируется только при письме на бумаге. Это лишь один из примеров, который показывает необходимость развития цифровой культуры у человека будущего. Знать о необходимости письма от руки и активно применять его, оставаясь при этом полноценным членом цифрового общества.

При отсутствии письма человек начинает хуже формулировать свои мысли и не способен воспринимать большие тексты. Среднестатистический пользователь интернета прочитывает не более 20 % текста, размещенного на странице, и всячески избегает больших абзацев. Исследования движения глаз показали, что человек, постоянно подключенный к сети, текст не читает, а сканирует как робот – выхватывает отовсюду разрозненные куски данных. В результате самыми стандартными комментариями на объёмные материалы становятся такие – «слишком много букв – не осилил», или «очень интересно, но ничего не понял»

Помимо всего прочего, интернет является также средством массового влияния на людей, разрывающим преемственность поколений, позволяющим переоценивать традиционные ценности (моральные, эстетические, научные, бытовые), причём как национальные, так и общечеловеческие.

Важно отметить, что цифровизация образовательного процесса идёт по бизнес-образцу и предполагает, что обучение – это сфера бизнеса – продажа услуг. Человек покупает навыки, чтобы затем продавать их с прибылью. Человек рассматривается как товар – отсюда упор на таланты, которые дороже стоят и приносят большую прибыль. Фундаментальное, универсальное и всеобъемлющее образование уступает место узконаправленному профильному обучению. (Соответственно фундаментальное образование остаётся только для немногих избранных, а для остальных – дешёвое, «компьютерное», дистанционное.)

В таких условиях цифровая культура является одним из важнейших условий благополучного функционирования общества в условиях цифровой среды. Это связано с тем, что цифровая культура является частью общечеловеческой культуры и призвана в первую очередь развивать человека как личность, индивидуальность, моральные и волевые качества на основе гуманистического, антропоцентрического принципов обучения и на самореализацию личности.

Ником Бостромом в 2002 г. введено понятие «экзистенциального риска», под которым понимается «риск, при котором неблагоприятный исход либо уничтожит разумную жизнь с Земли, либо навсегда и резко сократить его потенциал». Риски, связанные с нанотехнологиями и искусственным интеллектом находятся на верхних строчках данного рейтинга. Усовершенствование человека за счет технологии или медицинского вмешательства вовсе не делает человека высшим существом. Более того, обретение бессмертия вообще не предполагает сохранение человека в традиционном виде. Виртуальная реальность, сетевое пространство уже сегодня предоставляют возможности для достижения его формального «цифрового» бессмертия, когда физическое тело уже мертво, а «цифровой двойник» человек разумного, его alter ego, может продолжать «цифровую жизнь» в онлайн-социальных сетях.

В современном обществе происходит постепенное смещение фокуса внимания с антропоцентризма и гуманизма на неантропоцентрические формы и модели существования и развития человеческого вида. При этом человеческое бытие приобретает иные смыслы и ценности. В связи с этим актуальной становится необходимость осмысления направленности и перспектив такой деформации ценностей традиционного гуманизма в направлении транс- и постгуманизма.

В частности, в современном образовании отмечаются тенденции дегуманизации, включая потерю целостной и исторической картины современного мира у обучающихся в результате массового распространения непроверенных информационных сведений и ресурсов по интернет-каналам, появление институционального элитарного образования, снижение качества массового образования. Широкое распространение тестов для диагностики качества обучения, внедрение педагогических технологий в ущерб педагогическому мастерству, усиление административного контроля над учебным процессом наряду с утратой мотивации к обучению, – все это вместе способствует утрате образованием его традиционной гуманистической направленности. Приходится признать, что прежний мир с его гуманистическими ценностями сменяется новыми ценностями, более похожими на трансгуманистические [5].

Цифровизация образования, как и всех сфер социальной практики, преподносится как великое достижение цивилизации. Цифровые доски, цифровые дневники и планшеты, отсутствие бумажных учебников и т.п., они будут приложением к человеку или человек станет приложением к цифровым устройствам. И все же обучение на цифровых платформах не равно образованию. Напротив, образование по своей сути включает в себя социальные, культурные, экономические и политические процессы, проявляющиеся в физическом, реальном пространстве, и результаты образования находятся под влиянием многих факторов и их развертывание во времени носит отложенный характер. В этой связи важна проблема оценки полезности для человека разумного вышеописанных тенденций развития событий.

Цифровизация образования в целях развития человека разумного, который посредством цифровых технологий добивается новых вершин, совершает открытия и постигает горизонты неизведанного, должна базироваться на общечеловеческих культурных ценностях. Цифровая культура же соответственно призвана стать тем барьером, который затрагивает не только вопросы использования цифровых технологий и цифровизации экономики и образования, но и сохраняет духовность в условиях цифровой трансформации.

При этом цифровая культура может стать механизмом и проводником морально-нравственных и духовных ценностей в условиях цифровой трансформации образования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Bostrom, Nick* (2005). A history of transhumanist thought // *Journal of Evolution and Technology*. – 2005, № 14 (1) – С. 1-25
2. *Грибовод Е.Г.* Этапы становления постгуманизма. К постановке проблемы // *Научный журнал «Дискурс-Пи»*. – 2020 – № 4 (41) – С. 133–150
3. *Иванченко М.А.* Постгуманизм как антигуманизм: основные перспективы / М. А. Иванченко // *Известия Уральского федерального университета. Сер. 3, Общественные науки*. – 2019. – Т. 14, № 4 (194). – С. 16–24.
4. *Ильин Г.Л.* «Трансгуманизация» современного образования // *Высшее образование в России. Философия образования и науки*. – 2018, № 1. – С. 133–142
5. *Криман А.И.* (2019) Идея постчеловека: сравнительный анализ трансгуманизма и постгуманизма // *Философские науки*. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 132–147

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ РФ В КОНТЕКСТЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РИСКИ

### ENVIRONMENTAL STRATEGY OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE CONTEXT OF ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: EFFICIENCY ASSESSMENT AND RISKS

**Д. А. Мальцева, О. Д. Сафонова, Е. В. Семенец**

**D. A. Maltseva, O. D. Safonova, E. V. Semenets**

*Санкт-Петербургский государственный университет*

*г. Санкт-Петербург, Россия*

*buenafiesta@mail.ru*

*St. Petersburg State University*

*City Saint Petersburg, Country Russia*

В работе концептуализируются особенности стратегического управления в структуре реализации экологической политики в РФ. Исследуется опыт имплементации основных ориентиров устойчивого развития в российское политико-правовое поле, анализируется эффективность применяемых мер в сфере экологической политики, обозначаются риски и угрозы, а также артикулируется комплекс рекомендаций по совершенствованию стратегических инициатив в обозначенной области.

The paper conceptualizes the features of strategic management in the context of the implementation of environmental policy in the Russian Federation. The experience of implementing the main guidelines for sustainable development in the Russian political and legal field is explored, the effectiveness of the measures taken in the field of environmental policy is analyzed, risks and threats are identified, and a set of measures to improve strategic initiatives in the designated area is articulated.

*Ключевые слова:* экологическая политика, устойчивое развитие, стратегическое управление, риски.

*Keywords:* environmental policy, sustainable development, strategic management, risks.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-365-368>

В настоящее время в условиях глобальных трансформационных процессов, экологического кризиса, общего усугубления состояния окружающей среды и, как следствие, интенсификации рисков, представляющих потенциальные угрозы для жизни и здоровья населения, значительно возрастает роль обращения к исследованию концепции устойчивого развития.

Критическое состояние природной среды нередко становится катализатором социального кризиса, обостряет существующие противоречия и способствует увеличению напряженности в обществе, что говорит о высоком рискогенном потенциале экологических проблем. Кроме того, при отсутствии своевременных мер по разрешению данных проблем неблагоприятное состояние окружающей среды может угрожать существованию человека как биологического вида. Вышеприведенные факторы указывают на актуализацию развития экологической политики как отрасли государственного регулирования, способной реагировать на изменение биогенных констант и разрабатывать механизмы превенции и нивелирования экологических, а также социальных и политических рисков.

Глобальный характер многих экологических проблем указывает на то, что для их разрешения необходимы скоординированные действия политических сообществ. В данном контексте представляется важным обратить внимание на концепцию устойчивого развития, нацеленную на обеспечение экономического роста, гармонизацию политики в социальных и экологических вопросах. В ее основе лежат цели, обозначенные в Повестке дня на период до 2030 года, принятой в 2015 году Генеральной Ассамблеей ООН [1]. Она утвердила 17 целей и 169 задач, учет которых в контексте реализации национальной политики должен способствовать улучшению состояния окружающей среды и жизни населения на территории конкретного государства, а также детерминировать гармонизацию экологической обстановки в мире.

Представляется необходимым рассмотреть экологическую стратегию Российской Федерации в контексте общего тренда на экологизацию политико-правового поля, оценить эффективность предпринимаемых мер и выявить возможные риски и угрозы.

Для начала важно обозначить, что в Российской Федерации экологическое законодательство начало последовательно формироваться сравнительно недавно, поэтому оформление экологической политики как полноценной и автономной отрасли в общей структуре государственного регулирования является незаконченным процессом. Информация о стратегических государственных инициативах в сферах, смежных или напрямую касающихся охраны окружающей среды, содержится в «Основах государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 г.», «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», а также в отраслевых стратегиях. Так, Стратегия развития минерально-сырьевой базы до 2035 года определяет вектор развития геологической отрасли, закрепляя необходимость устойчивого удовлетворения потребностей национальной экономики в сфере поставок минерального сырья, с соблюдением баланса между экспортом и импортом, а также рациональным использованием ресурсов. В стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года подчеркивается важность принятия мер по обеспечению экологической безопасности при освоении природных ресурсов в Арктике. Отдельная Стратегия посвящена вопросу обращения с отходами: она устанавливает принципы обработки, утилизации и обезвреживания отходов и определяет целевые показатели для оценки динамики деятельности государства. Также стоит отметить Стратегию долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, в которой закрепляется необходимость изменений экономической структуры в условиях меняющегося климатического состояния, артикулируются сценарии реализации стратегии и ключевые индикаторы.

Авторская задача представленного исследования заключалась в ответе на вопрос, насколько существующие стратегические документы отражают цели устойчивого развития. В рамках данной статьи рассмотрены только те цели, которые относятся к дискурсу реализации экологической политики в РФ. Обратимся к их более подробному анализу.

ЦУР 6 – повсеместное обеспечение водных ресурсов и санитарии. Достижение данной цели позволит к 2030 году достичь всеобщего равного доступа к питьевой воде надлежащего качества для всех граждан, а также к средствам гигиены. К 2024 году также планируется обеспечение экологического оздоровления и восстановление таких водных объектов, как река Волга, озера Байкал и Телецкое, а также сокращение в 3 раза количества загрязненных сбрасываемых в Волгу сточных вод к 2024 году [2, 3].

ЦУР 7 – обеспечение всеобщего доступа к недорогим и устойчивым источникам энергии. Россия нацелена на достижение показателя гарантированного обеспечения всех доступной электроэнергией и переход к устойчивому энергоснабжению во всех регионах; развитие централизованных энергосистем и модернизацию генерирующих мощностей тепловых, атомных и гидроэлектростанций; электрификацию транспортных коридоров «Запад – Восток» и «Север – Юг» [2]. Подробные задачи и целевые показатели приведены в Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года.

ЦУР 12 – переход к рациональным моделям потребления и производства. РФ планирует к 2030 году сформировать систему устойчивого обращения с твердыми коммунальными отходами, которая бы позволяла отсортировать 100 % поступающих отходов [3]. Кроме того, основные стратегические документы декларируют необходимость рационального использования, распределения и потребления ресурсов и важность повсеместного распространения экологического образования, обеспечивающего более полную информированность граждан о моделях рационального потребительского поведения.

ЦУР 13 – борьба с изменением климата. Указ Президента определяет в качестве одной из национальных целей снижение в 2 раза до 2030 года выбросов опасных веществ, имеющих потенциальный негативный эффект как для окружающей среды, так и для здоровья населения [3]. В городах с наиболее сложной экологической обстановкой планируется снизить объем выбросов загрязняющих веществ на 20 % уже к 2024 году. Кроме того, в Стратегии долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года обозначена цель до 2030 года – снижение выбросов парниковых газов до 67 % от показателей 1990 года.

ЦУР 14 – сохранение океанов и морей, рациональное использование морских ресурсов. Для РФ поддержание водных объектов и их оздоровление является одной из задач национального развития [3]. В российской Стратегии развития морской деятельности указаны следующие цели: поддержание экологически безопасного состояния морской среды путем регулярного мониторинга, экологического контроля и осуществления мер по нивелированию антропогенного фактора при освоении природных ресурсов, а также мер по предотвращению техногенных экологических катастроф, например, разливов нефти.

ЦУР 15 – защита экосистем суши и биоразнообразия. Россия придерживается вектора сохранения биоразнообразия как одной из национальных задач [2]. Национальный проект «Экология» также обозначает следующие цели: увеличение к 2024 году количества особо охраняемых природных территорий, сохранение лесов и биологического разнообразия.

На основе приведенных данных можно сделать следующие выводы. Российская Федерация заинтересована в переходе к устойчивому развитию и предпринимает различные шаги по внедрению целей устойчивого развития в свою национальную политику. Однако в России не выработано единой стратегии устойчивого развития или плана по достижению ЦУР, а природоохранная документарная база представляет собой разрозненную совокупность стратегий, постановлений и национальных проектов, часть из которых устанавливает референтные показатели, а часть – декларирует цели только общими формулировками. Данный фактор замедляет прогресс в области социально-экологического развития и снижает общую эффективность предпринимаемых действий ввиду отсутствия конкретных измеримых целей по ряду направлений. Для полноценного достижения целей устойчивого развития важным представляется комплексный подход, предполагающий разностороннее стремление к социальному и экологическому благополучию.

По указанным документам можно выделить приоритетные цели устойчивого развития, которые прописаны более детально и включают перечень конкретных результатов – это ЦУР 6, 7, 12 и 13. Однако представляется важным экстраполировать данный подход на все цели устойчивого развития.

В рамках представленного исследования был также осуществлен анализ данных по достижению целей устойчивого развития на основе Индекса целей устойчивого развития, составленного SDSN и Bertelsmann Stiftung. В общем рейтинге стран за 2022 год РФ имеет 74.1 балл и занимает 45 место [5]. В целом, положение РФ в области достижения целей устойчивого развития является скорее средним. Так, из 6 рассмотренных целей социально-экологического развития за последний год по 5 можно отметить умеренный прогресс, по 1 – стагнацию. При рассмотрении более детальных показателей наиболее проблемными представляются ЦУР 13 и 14, что свидетельствует о проблематизации вопросов борьбы с изменением климата и сохранения морей и океанов, соответственно. Если оценивать динамику достижения вышеобозначенных ЦУР за последние 5 лет, то можно сделать вывод, что она имеет скорее стагнирующий характер: показатели России в отношении ЦУР 6, 7, 15 ухудшились, по ЦУР 12, 13, 14 не изменились [4,5].

Из проведенного сравнительного анализа можно сделать вывод, что имплементация целей устойчивого развития в Российской Федерации происходит достаточно хаотично, на что указывает отсутствие единого нормативно-правового акта, стратегии, плана, который бы фиксировал определенную последовательность шагов для достижения целей и наличие конкретных индикаторов по всем направлениям. Общая динамика социально-экологического развития России также неоднородна и сопровождается как улучшением, так и усугублением существующих проблем, что позволяет оценить общую эффективность как среднюю. Можно выразить опасение, что при сохранении текущей динамики большинство целей устойчивого развития не будет достигнуто к 2030 году.

В части разработки рекомендаций по совершенствованию комплекса экологической политики РФ и повышению вероятности достижения целей устойчивого развития эффективным видится создание единого документа, отражающего перечень ЦУР национального масштаба, конкретных индикаторов и сроков достижения. Также необходимым представляется определение государственных структур, ответственных за достижение конкретных целей, что поспособствовало бы реализации сбалансированной и скоординированной социально-экологической политики на федеральном, региональном и местном уровнях. Кроме того, в рамках развития экологического контроля целесообразно проведение регулярного мониторинга национальных индикаторов ЦУР с последующей публикацией результатов для возможности отслеживать прогресс и давать объективную оценку социально-экологическому развитию страны по этим критериям. Повышение эффективности предпринимаемых мер возможно также путем развития экологически ориентированного взаимодействия между органами власти различных уровней, бизнес-структурами, некоммерческими организациями и объединениями, отдельными локальными сообществами и группами, гражданским обществом, направленное на совместное достижение социально-экологического благополучия. Важной представляется разработка комплекса информационно-коммуникационных мер, способствующих прозрачности и открытости политики в области устойчивого развития, а также обеспечивающих повышение экологической информированности населения и развитие экологической культуры.



Подводя итоги, можно с уверенностью утверждать, что в условиях критического состояния окружающей среды происходит усиление роли экологических факторов в жизни государства и общества. Это актуализирует необходимость применения механизмов, воплощающих концепцию устойчивого развития и ориентированных на социальный, экономический и экологический рост без существенного вреда для биосферы. Создание Российской Федерацией подробных долгосрочных стратегических документов отображает понимание важности для государства вопросов экологии и попытки найти баланс между экологическим и экономическим аспектами, что соответствует трендам концепции устойчивого развития. Имплементация целей устойчивого развития в российское политико-правовое поле происходит достаточно спорадично, что указывает на необходимость дальнейшего совершенствования экологического законодательства, а также применения совокупности мер, нацеленных на имплементацию комплексного подхода к достижению социально-экологического развития.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-18-00115, <https://rscf.ru/project/19-18-00115/>

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. URL: [https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1\\_ru.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_ru.pdf) (дата обращения: 24.03.2023)
2. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения: 25.03.2023)
3. Указ Президента РФ от 21.07.2020 N 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/74404210/?ysclid=lf2wbvzp2403085994> (дата обращения: 25.03.2023)
4. Sustainable Development Report 2018. [Электронный ресурс]. URL: [https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2018/2018\\_sdg\\_index\\_and\\_dashboards\\_report.pdf](https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2018/2018_sdg_index_and_dashboards_report.pdf) (дата обращения: 25.03.2023)
5. Sustainable Development Report 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2022/2022-sustainable-development-report.pdf> (дата обращения: 25.03.2023)

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УЧАЩИХСЯ В ШКОЛЕ SCIENTIFIC RESEARCH ACTIVITY OF STUDENTS AT SCHOOL

**К. А. Гнедая, Н. В. Яблонская, В. А. Филиппенко, Е. А. Данькова**  
**K. A. Gnedaia, N. V. Yablonskaya, V. A. Filippenko, E. A. Dankova**

ГУО «Средняя школа № 126 г. Минска», г. Минск, Республика Беларусь  
[natalia1983.83@mail.ru](mailto:natalia1983.83@mail.ru)

*State Educational Establishment "Secondary School No. 126 of Minsk", Minsk, Republic of Belarus*

В статье представлены результаты изучения возможностей применения такого инвазивного вида растений как золотарник канадский, произрастающего на территории Республики Беларусь. Из его сушеных листьев получен экстракт с наночастицами серебра, произведен анализ антибактериального действия в лаборатории на бактериях, доказано его антибактериальное действие. Проект по физике посвящён исследованию использования солнечных печек для приготовления еды. Главным намерением работы является расчёт и создание макета солнечной печки и поиска способов повышения её мобильности.

The article presents the results of studying the possibilities of using such an invasive plant species as Canadian goldenrod, which grows on the territory of the Republic of Belarus. From its dried leaves, an extract with silver nanoparticles was obtained, an analysis of the antibacterial effect in the laboratory on bacteria was carried out, antibacterial effect was proved. The physics project is dedicated to the study of the use of solar ovens for cooking. The main intention of the work is to calculate and create a model of a solar stove and find ways to increase its mobility.

**Ключевые слова:** золотарник канадский, наночастица, грамотрицательные бактерии, энтеробактерии, зеленая химия, солнечный коллектор, солнечная печка, параболический концентратор, альтернативная энергетика, мобильность коллекторов, коллекторы в быту.

**Keywords:** Canadian goldenrod, nanoparticle, gram-negative bacteria, enterobacteria, green chemistry, solar collector, solar stove, parabolic concentrator, alternative energy, mobility of collectors, collectors in everyday life.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-368-371>

В последние годы все более популярным и оправданным становится использование технологии исследовательской деятельности учащихся на уроках и во внеурочное время. Исследовательская деятельность способствует формированию ключевых компетентностей у ребят: умение увидеть проблему, искать и находить информацию, работать в группе, рассказывать о результатах, размышлять, сравнивать, отвечать на вопросы, делать выводы, устанавливать причинно-следственную связь. Организация исследовательской работы представляет собой трудоемкий и сложный в реализации процесс. Педагоги, решившие заниматься исследовательской работой в школе, должны обладать специальными дополнительными знаниями и опытом в научной деятельности. Именно учитель выступает как организатор и руководитель ученических исследований, несет ответственность за результаты работы. Очевидно, успех исследовательской работы учащегося – результат грамотной работы руководителя исследования. В ГУО «Средняя школа № 126 г.Минска» ведется плодотворная работа по формированию исследовательских навыков у учащихся.

Особый интерес вызвало исследование Яблонской Надежды по химии, учащейся 9 «В» класса, по теме «Получение наночастиц серебра с помощью зеленой химии».

Цель исследования – получить наночастицы серебра из листьев золотарника канадского и изучить их влияние на бактерии. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: изучение инвазивных видов растений в РБ: их химический состав, применение, и борьбы с ними на примере золотарника канадского; получение экстракта золотарника канадского; изучение свойств и основных методов получения наночастиц; экспериментальное получение наночастиц серебра; изучение антибиотикорезистентности.

Золотарник канадский (далее – золотарник) является чужеродным инвазивным видом растений для Республики Беларусь. Он входит в список особо опасных инвазивных видов растений для Республики Беларусь. Неконтролируемое распространение данного вида приводит к угнетению и даже полному вытеснению из природных экосистем аборигенных растений. В луговых и пойменных экосистемах, где поселяется золотарник, меняется состав и структура сенокосных угодий, значительно (крупный рогатый скот его не поедает). При этом образуются крупные жесткие дернины, развитие которых, затрудняет произрастание многих хозяйственно-полезных растений, меняется структура и процесс аэрации почв. В пойменных луговых сообществах золотарник несет угрозу популяциям многих редких и исчезающих видов растений. Золотарник канадский – многолетнее травянистое растение высотой до 200 см. Цветет в июле – сентябре, семена созревают в августе – октябре. Золотарник – аллергенное агрессивное растение и Беларуси угрожает стремительное распространение его. Экологи предупреждают: по степени опасности для окружающей среды и благополучия человека этот чужеродный вид находится в одном ряду с борщевиком и колорадским жуком. Бороться с золотарником можно химическими и механическими методами.

В рамках нашего исследования было решено попробовать найти для золотарника применение и с помощью зеленой химии получить из него наночастицы.

Зеленая химия – это своего рода искусство, позволяющее не просто получить нужное вещество, но получить его таким путем, который, в идеале, не вредит окружающей среде на всех стадиях своего получения. Свойства у наночастиц серебра на самом деле уникальные. В первую очередь, они обладают феноменальной бактерицидной и антивирусной активностью.

В начале исследования был проведен сбор материала. Летом собирали листья золотарника канадского до цветения, промывали листья и высушивали.

Потом готовили экстракта золотарника. В круглодонную колбу вносили 2,5 г сухой фитомассы листьев золотарника канадского, заливали дистиллированной воды, настаивали в течении 30 минут и экстрагировали в колбо-нагревателе в течении часа при температуре 80 градусов, с использованием обратного холодильника, т.к вода не испарялась, а обратно конденсировалась. По истечении времени отключали нагрев, ждали, когда раствор достигнет комнатной температуры, в темноте настаивали в течении 30 минут, при этом каждые 5 минут перемешивали, взбалтывали колбу и фильтровали через бумажный фильтр. Итоговый раствор перелили в колбу.

Следующим этапом было получение наночастиц серебра, т.е. работа под вытяжкой. В коническую колбу взвесили 18 миллиграмма нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$ , и растворяли в 50 мл воды. Данный раствор кипятили при интенсивном перемешивании на магнитной мешалке с обратным холодильником. При достижении раствора 80 °C вносили 3мл полученного экстракта и кипятили в течении 20 минут. По истечении времени останавливали перемешивание, выключали нагрев, ждали, когда раствор станет комнатной температуры и снимали ультрафиолетовый спектр в диапазоне от 200 до 600 нанометр. Пик, который давал исследуемый образец на 450 нанометрах, снимали на спектрофотометре Шимадзу.

Затем делали анализ антибактериального действия наночастиц серебра. Бактериальная культура для исследования была предоставлена кафедрой иммунологии факультета экологической медицины Международного государственного экологического института имени А.Д.Сахарова Белорусского государственного университета. Работу по исследованию влияния полученных наночастиц проводили в ламинарном боксе. Институтом нам были предоставлены два вида бактерии кишечные палочки – *Escherichia coli*, они являются грамотрицательными палочковидными бактериями и бациллюс цереус *Bacillus cereus*, грамположительными бактериями. Мы их высевали на питательные среды Эндо (для выявления наличия кишечной палочки) и Мосселя (MYP-agar) (для выявления наличия *Bacillus cereus*) и получили биологический материал для исследования. Методом шпателя Дригальского внесли бактерии на питательную среду, а потом выложили фильтровальные диски, на которые вносили полученные наночастицы серебра.

Метод шпателя Дригальского является более совершенным методом, который широко распространен в повседневной микробиологической практике. Сначала на поверхность среды в чашке Петри пипеткой или петлей наносят исследуемый материал. С помощью металлического или стеклянного шпателя его тщательным образом втирают в среду. Чашку во время посева держат приоткрытой и осторожно вращают, чтобы равномерно распределить материал.

Не позднее чем через 15 мин после инокуляции на поверхность питательной среды наносят на бумажные диски.



Диаметр зон задержки роста измеряют с точностью до 1 мм, предпочтительнее пользоваться штангенциркулем или кронциркулем.

Выводы: проанализировали влияние наночастиц серебра на параметры роста грамотрицательных бактерий *E. coli* и грамположительных бациллов *Bacillus cereus*. Выбор объектов изучения объясняется тем, что эти бактерии широко используются в микробиологических и биотехнологических исследованиях в качестве модельных организмов для грамотрицательных и грамположительных бактерий соответственно. Среди этих энтеробактерий также встречаются патогенные формы, вызывающие широкий диапазон инфекционных заболеваний у человека и проявляющие устойчивость ко многим известным антибиотикам;

- наночастицы Ag демонстрировали антибактериальную активность в отношении использованных бактерий, выражающуюся в подавлении удельной скорости роста;
- обнаружена концентрационная зависимость антибактериального действия наночастиц Ag: максимальный ингибирующий эффект наночастиц Ag проявлялся при концентрации;
- при этом действие наночастиц Ag на бациллов *Bacillus cereus* было более выраженным, чем на кишечную палочку - *Escherichia coli*.

Таким образом, грамотрицательные бактерии оказались более устойчивыми к действию наночастиц, чем грамположительные, что может быть связано со строением клеточной стенки и наличием наружной мембраны, служащей своеобразным барьером для наночастиц. Предполагается, что антибактериальная активность наночастиц Ag может быть результатом возникновения свободных положительно заряженных ионов Ag, их адсорбции на отрицательно заряженной поверхности бактериальной мембраны, взаимодействия с мембраносвязанными белками, в том числе с ферментами, и проникновения в клетку. Свободные ионы Ag<sup>+</sup> могут способствовать образованию активных форм кислорода, что может привести к окислительному стрессу, повреждению белков и клеточных мембран, а также к гибели бактерий.

Данькова Екатерина, учащаяся 9 «В» класса, проявила интерес к учебному предмету «Физика» и представила исследование «Солнечный коллектор или печка из Солнца».

Предметом исследования данной темы является параболический солнечный коллектор, используемый в качестве солнечных кухонь.

В первой части работы были выполнены исследования возможности реализации солнечной кухни из подручных дешёвых и доступных в обычных магазинах материалов без использования специальных знаний по данной тематике.

Поскольку ограничивающим фактором исследования было решение изготовить солнечную кухню из дешёвых и подручных материалов своими руками, то в первой части много времени было потрачено на поиск технологий крепления отражающих материалов к параболической основе, сохраняя при этом их высокую отражающую способность.

Было рассмотрено шесть комбинаций параболической основы с отражающими материалами. Каждый вариант реализовывался на практике с последующим экспериментом, после которого выполнялся анализ плюсов и минусов созданной конструкции. После чего предлагались новые способы создания отражающей поверхности. Каждая последующая конструкция демонстрировала повышение эффективности фокусирования солнечных лучей и, следовательно, нагревания.

Конечным результатом первой части проекта стала отражающая поверхность с бюджетом в 15–20 белорусских рублей, благодаря которой удалось нагреть воду до 95° в ветреную погоду и дважды пожарить яичницу.

По результатам применения солнечной печи автором был предложен собственный концепт солнечной печи, в соответствии с которым солнечная печь должна быть мобильной, быстро и просто приводится в рабочее состояние. Для реализации концепта необходимо было создать макет коллектора.

Вторая часть работы была посвящена математическим расчётам отражающей поверхности в виде параболоида, выполнению рабочих чертежей и изготовлению по ним макета. Для этого было изучено математическое описание параболоида и выведена необходимая формула для расчётов, которая была запрограммирована в программе Microsoft Excel. Дальнейшее изучение выполнения развёртки на плоскости параболоида позволило выполнить трафарет для будущих элементов отражателя. Созданная последовательность расчётов дала возможность в будущем быстро выполнять расчёты отражателя при изменении мощности и, как следствие, геометрических размеров.

Последующей большой проблемой для автора стал поиск способов повышения жёсткости изготовленных секторов. Были опробованы 3-4 способа создания и крепления рёбер жёсткости. Удачная конструкция с математическими расчётами и выполненными чертежами была найдена и реализована.



Третьей частью проекта стал поиск решения для быстрой и простой сборки/разборки солнечной печи.

Данная работа являлась частью целой работы, посвящённой созданию конструкции солнечного коллектора, повышающей его мобильность, лёгкость и скорость сборки/разборки. Согласно нашей гипотезе такая конструкция расширит область применения солнечных кухонь и повысит удобство работы с ними.

Очевидно, исследовательская деятельность многогранна и разнообразна. Опыт написания исследовательской работы помогает учащимся стать открытыми, социально активными, общительными, ребята учатся чётко излагать свою точку зрения, свои мысли, а значит, напрямую затрагивает их творческие способности.

Организация научно-исследовательской деятельности педагогов и учащихся школы является средством повышения качества образования, а исследовательская деятельность учителя - повышения его профессиональной компетентности. В любом случае, исследовательская работа в школе – это еще один путь развития одаренных ребят и нахождения будущих талантливых ученых.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Викторов, Д.П.* Биология: учебное пособие для слушателей подготовительных отделений вузов / В.А.Иванова, О. А. Лакомкина. – Москва: издательство «Высшая школа», 1981. – 128 с.
2. *Габриелян, Л. С., Трчуян, А.А.* статья: Антибактериальные свойства наночастиц серебра и мембранотропные механизмы их действия. – Минск, 2020.
3. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / исполн.: В.В.Покотилов, М.А.Рутковский. – Минск : 2014.
4. *Лабинской, А. С. Медицина* / Л. П. Блинковой, А. С. Ещиной. – Москва: 2004.
5. Насколько подешевеет солнечное электричество? / С. Шевкопляс // AW Therm. – 2016.
6. *Нейман, Б. Я.* Индустрия микробов / Нейман, Б. Я. – Москва: издательство «Знание», 1983. – 208 с.



# ИЗУЧЕНИЕ РОСТОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КУЛЬТУРЫ CHLORELLA SP. STUDY OF GROWTH INDICATORS OF CHLORELLA SP.

**И. М. Новик, Е. Э. Бондаренко, К. В. Котлярова, П. В. Суманович**  
**I. M. Novik, E. E. Bondarenko, K. V. Kotlyarova, P. V. Simanovich**

ГУО «Средняя школа № 126 г.Минска», г.Минск, Республика Беларусь  
natallia1983.83@mail.ru, marina02012013@mail.ru  
State Educational Establishment "Secondary School No. 126 of Minsk", Minsk, Republic of Belarus

В данной работе представлены исследования в области альгологии, отражена перспектива использования объекта живой природы – хлореллы, как альтернативного источника для получения биодобавок и очистителя белорусских искусственных водоемов.

This paper presents research in the field of algology, reflects the prospect of using an object of wildlife - chlorella, as an alternative source for obtaining bioadditives and a cleaner of Belarusian artificial reservoirs.

*Ключевые слова:* хлорелла, альгология, световая микроскопия, среда Тамия, культивирование

*Keywords:* chlorella, algology, light microscopy, Tamiya medium, cultivation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-372-375>

Сувеличением численности населения планеты Земля все более актуальным становится продовольственный вопрос, а в связи с этим – увеличение продуктивности сельскохозяйственных животных. Для производства комбикормов для домашних животных на всех континентах используются зерновые культуры – рожь, пшеница, ячмень, овес, которые богаты растительным белком – клейковиной. Увеличить количество пахотных земель, улучшить химический состав почв, создать новые сорта злаковых – меры, которые позволили бы повысить производительность сельского хозяйства, но данные меры экономически и экологически не выгодны. Значит, актуальным остается вопрос создания способов повышения продуктивности биомассы микроводорослей, которые по содержанию белка в несколько раз превосходят злаковые культуры. Практическое применение микроводорослей (хлореллы) позволит решить три экологические проблемы одновременно: загрязнение пресных водоемов промышленными водами (воды пищевой промышленности); сокращение численности различных видов растений и животных, обитающих в наших реках и озерах; получение дешевой биологической добавки для вскармливания сельскохозяйственных животных.

Целью нашей работы являлось изучение влияния экологических факторов на ростовые показатели культуры *Chlorella sp.*; определение зоны оптимума. В виду этого решались следующие задачи: провести анализ литературы по исследованию влияющих факторов на ростовые показатели культуры *Chlorella sp.*; оценить ростовые показатели культуры в зависимости от действия освещения (естественного и регулируемого) *Chlorella sp.*; от изменения состава селективной среды.

Работы по данной тематике осуществлялись два года. В 2020/2021 учебном году был изучен теоретический материал по данной проблематике. В 2021/2022 учебном году в результате исследования влияния экологических факторов на ростовые показатели хлореллы для некоторых штаммов хлореллы была определена зона экологического оптимума, что может быть использовано в дальнейшем в промышленном культивировании хлореллы.

При изучении литературы было установлено, что хлорелла является перспективным источником возобновляемой энергии, так как ее производство не является сезонным и выход не ограничивается одним или двумя урожаями в год. По сравнению с другим сырьем для производства органических соединений, содержащих большое количество энергии, таких как пшеница и рожь, хлорелла обладает преимуществом в 6–12 раз по производству годовой энергии (Sandefur, Matlock & Costello, 2011).

Все немногочисленные литературные источники о данном объекте живой природы имеют три направления: исследования на улучшение выхода биомассы хлореллы; практическое использование хлореллы для приготовления комбикормов для домашней птицы; практическое использование хлореллы для получения биодобавок. Тематик, связанных с данным объектом живой природы, может быть великое множество, так как и в природе, и тем более в лабораториях существует великое множество штаммов хлореллы. Но на сегодняшний день изучены ростовые показатели лишь для некоторых из них.

Вначале для проведения исследования был выполнен забор воды из трех систем очистки сточных вод. Необходимо было определить какие роды микроводорослей присутствуют в городских очистных сооружениях. Используя определитель водорослей, метод микроскопирования и консультацию сотрудников лаборатории биоразнообразия НАН Республики Беларусь, были установлены следующие роды микроводорослей: *Chlorella*,

*Botrydiopsis*, *Dictyochloris*, *Ellipsoidon* и *Scenedesmus*. Данные водоросли являются жизнеспособными в сточных водах, а также легко выращиваются в лабораторных условиях.

Для дальнейшего исследования ростовых показателей культуры *Chlorella vulgaris* была использована чистая лабораторная микроводоросль.

В ходе проведения эксперимента по изучению ростовых показателей культуры *Chlorella vulgaris* мы использовали следующие методы: световая микроскопия, приготовление питательной среды Таммийа, культивирование (выращивание) при различных условиях, взвешивание, анализ полученных данных.



Рисунок 1 – Световая микроскопирования



Рисунок 2 – Определение биомассы *Chlorella vulgaris*



Рисунок 3 – Фильтрация суспензии *Chlorella vulgaris*



Рисунок 4 – Взвешивание биомассы *Chlorella vulgaris*

Культура выращивалась при естественном освещении с 22.03.2022 по 02.04.2022 в эксперименте по изучению влияния минерального питания на продуктивность хлореллы использовали стандартную среду Таммийа, состав которой ( $\text{KNO}_3$  – 5,0 г/л,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 2,5 г/л,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,25 г/л,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,003 г/л, ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота) – 0,044 г/л.

ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота) препятствует выпадению солей в осадок и способствует лучшему поглощению их клетками водоросли.

Провели три эксперимента:

**1. Ростовые показатели культуры хлореллы *Chlorella vulgaris* (биомасса) при разных разбавлениях среды Таммийа.** Сухие вещества взвешивали на электронных весах и готовили среду Таммийа. Проводили 4 опыта: 1 опыт: изучение влияния 100 % среды Таммийа на ростовые показатели культура *Chlorella vulgaris*; 2 опыт: изучение влияния 50 % среды Таммийа на ростовые показатели культура *Chlorella vulgaris*; 3 опыт: изучение влияния 25 % среды Таммийа на ростовые показатели культура *Chlorella vulgaris*; 4 опыт: изучение влияния 10 % среды Таммийа на ростовые показатели культура *Chlorella vulgaris*. Биомассу клеток во всех 12 культуральных сосудах взвешивали через каждые трое суток. Для этого использовали 100 мл культуральной среды хлореллы в каждом биологическом реакторе. Ежедневно контролировали также уровень жидкости в биологических сосудах (биореакторах). Потерю воды из питательной среды за счет ее испарения компенсировали, добавляя водопроводную воду с температурой 23 °С. Производить сравнение культур было решено на 9 сутки культивирования, так как этого срока культивирования было достаточно для выхода кривых на плато.

**Вывод 1.** Биомасса клеток хлореллы в культуральных сосудах, где использовалась 50 % питательная среда Таммийа преобладала над биомассой клеток, выращенных на 100 %, 25 % и 10 % растворе Таммийа. Значит, данная концентрация химических веществ является оптимальной для роста и развития *Chlorella vulgaris*.



Рисунок 5 – Зависимость прироста биомассы *Chlorella vulgaris* от воздействия 50 % раствора Тамия (биомасса исчисляется в граммах)

**2. Ростовые показатели культуры хлореллы *Chlorella vulgaris*** (биомасса) при различных показателях содержания углекислого газа. Для данного эксперимента мы использовали культуру хлореллы объемом 100 мл (в каждом биологическом реакторе), выращенную на 50% питательной среде Тамия (при выращивании на данной питательной среде биомасса хлореллы была максимальной). Создали два биореактора с разной аэрацией: первый биореактор с естественной аэрацией (без подачи с помощью катетера воздуха; второй биореактор с использованием катетера, через который подавался дополнительный воздух. Соответственно, через второй биореактор пропусклось большее количество углекислого газа, чем через первый. В третий биореактор поместили к питательной среде Тамия дополнительный источник энергии – дисахарид (сахарозу), в ходе разложения из которого образуется углекислый газ.

**Вывод 2.** Углекислый газ стимулирует продуктивность биомассы культуры хлореллы, культивируемой на 50 % питательной среде Тамия. В биореакторе, в котором производили обогащение среды культивирования хлореллы углекислым газом, биомасса микроводоросли оказалась выше, чем в биореакторе, в котором не производилось обогащение углекислым газом. Самым производительным биореактором оказался тот, в котором были добавлены сахара.

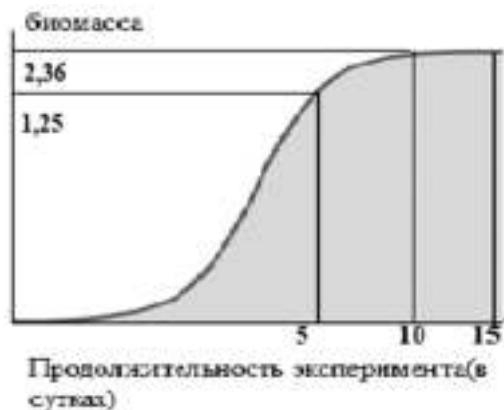


Рисунок 6 – Зависимость прироста биомассы *Chlorella vulgaris* от продолжительности воздействия освещения желтым светом (биомасса исчисляется в граммах)

**3. Ростовые показатели культуры хлореллы *Chlorella vulgaris*** (биомасса) при различном освещении (использовали лампы с теплым и холодным светом). Изучалось влияние теплого, холодного и нейтрального света на ростовые показатели хлореллы. Использовались светодиодные лампочки одинаковой мощности – 6 Вт. Культуру *Chlorella vulgaris* в биореакторах располагали под светильником на различном расстоянии. Контрольный вариант культуры *Chlorella vulgaris* располагали на подоконнике.

**Вывод 3.** Качество света существенно влияет на продуктивность биомассы культуры *Chlorella vulgaris*. Экспериментально подтверждено влияние регулируемого освещения на рост культуры хлореллы. Значительно большее количество биомассы хлореллы производится в биореакторе с желтым светом по сравнению с синим светом. Но размер клетки хлореллы, культивируемой под голубым светом, больше, чем культивируемой под красным светом. Однако, средний размер клеток наблюдался при культивировании с использованием естественного освещения.



Рисунок 7 – Зависимость прироста биомассы *Chlorella vulgaris* от продолжительности воздействия на культуру сахаров (биомасса исчисляется в граммах)

В данной работе проведен анализ литературы по влиянию освещения, содержания углекислого газа, минерального питания на рост культуры хлореллы, на образование ее биомассы.

В работе экспериментально доказано, что экологическим оптимумом ростовых показателей хлореллы является использование следующих экологических факторов: 50% питательная среда Тамия (средний показатель биомассы хлореллы составил 0,93 г/литр культивируемой среды), использование желтого освещения (средний показатель биомассы хлореллы составил 2,37 г/литр культивируемой среды), повышенная концентрация углекислого газа в культивируемой среде (средний показатель биомассы хлореллы составил 6,21 г/литр культивируемой среды).

В трех экспериментах наблюдалось активное увеличение биомассы на протяжении первых 5 суток, затем темпы роста снизились, а на 15 сутки не наблюдалось значительных изменений в приросте биомассы хлореллы, график выходит на плато.

Изучив влияние экологических факторов на ростовые показатели хлореллы, мы сможем культивировать экологически чистую хлореллу с целью получения важных источников биодобавок.

*Chlorella vulgaris* – микроводоросль, которая широко распространена во всех очистных сооружениях, где вода загрязнена неорганическими и органическими, N- и P- содержащими соединениями. Для хлореллы эти химические элементы являются благоприятной средой обитания. Значит, возможна перспектива использования сточных вод для массового размножения хлореллы.

При выращивании хлореллы на сточных водах любых производств использовать ее в пищу нельзя. Но в этом случае хлорелла помогает выводить из воды опасные вещества, аккумулируя их, или используя в качестве питательных веществ. Хлорелла по завершении жизненного цикла оседает на дно водоемов и дальнейшее ее использование в народном хозяйстве возможно в качестве удобрения (когда чистят водоемы и вывозят ил на поля) но только, если в этот водоем не поступали стоки производств, содержащие тяжелые металлы и другие опасные вещества.

Таким образом, в результате проделанной работы у учащихся сформировано представление об одноклеточной водоросли *Chlorella sp.* Приобретая исследовательские компетенции по биологии, учащиеся развивают свои способности, поисковую и познавательную деятельность, обогащают свои знания, формируют экологическую культуру учащихся.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мельникова С.С., Мананкина, Е.Е., Самович, Т.В., Козел, Н.В., Шалыго, Н.В. Оптимизация условий выращивания хлореллы. – Минск, Весті НАН Беларусі, серыя біялагічных навук, 2014, №3. С. 52–57.
2. Мельников С.С., Мананкина Е.Е. Использование хлореллы для кормления сельскохозяйственных животных // Наука и инновации. – 2010. – № 8 (90). – С. 40–43.
3. Шалыго Н.В., Мананкина, Е.Е., Ромашко, А.К., Ерошевич, В.С. Рекомендации по использованию биологически активных биологических добавок на основе водорослей (суспензии хлореллы в птицеводстве), НАН Беларуси, ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии», РУП «Опытная научная станция по птицеводству», НПЦ НАН Беларуси по животноводству, – Минск, 2012. – С. 38.
4. Шалыго Н.В., Мельников С.С. Хозяйственно полезные виды водорослей и их использование в народном хозяйстве // Наука и инновации. – 2009. – № 3. – С. 34–36.



# СОДЕРЖАНИЕ

## ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ, МОНИТОРИНГ, УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ САДКОВОГО КАРПОВОГО ХОЗЯЙСТВА

О. Н. Федосеев, С. В. Новичков ..... 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ ДРЕВОСТОЯ НА ТЕРРИТОРИИ ПГУАС

Ю. А. Правдина, Л. М. Хурнова ..... 10

### МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ НА ВЫГОНАХ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

В. В. Шималов ..... 14

### ПРОЦЕССЫ ДЕГРАДАЦИИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ: ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Н. Н. Цыбулько, Е. В. Алексейчик ..... 17

### ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ ДЕРЕВА

С. О. Медведев, М. А. Зырянов ..... 21

### ПЛАЗМОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА КАК АКТИВНОЙ ФАЗЫ ГИБРИДНЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Н. А. Савастенко, А. А. Щербович, В. А. Люшкевич, И. И. Филатова, С. А. Маскевич ..... 24

### СО-ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ

В. И. Назаров ..... 29

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Д. Д. Ленковец, В. Д. Свирид ..... 32

### ИССЛЕДОВАНИЕ АВИАЦИОННОГО ШУМА НА ПРИАЭРОДРОМНОЙ ТЕРРИТОРИИ В Г. КОРЕНОВСКЕ

Е. А. Сироштаненко, С. Н. Болотин ..... 35

### ПЕРЕРАБОТКА ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ НА СТАДИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

М. А. Зырянов, С. О. Медведев ..... 38

### ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМОИНДУЦИРОВАННОЙ МОДИФИКАЦИИ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИЯХ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Н. А. Савастенко, А. В. Медведский, В. А. Люшкевич, И. И. Филатова, С. А. Маскевич ..... 42

### ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА НА ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

О. В. Черникова, Ю. А. Мажайский ..... 46

### ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ БАЗ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАЗВИТИЯ

И. Т. Золотухина, С. О. Медведев, Е. В. Петрова ..... 50

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОВТОРНОГО ЗАБОЛАЧИВАНИЯ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ                                                              |     |
| Ю. Г. Лях, М. С. Красновская, К. А. Якимович .....                                                                                               | 54  |
| НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (НДТ) ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ                                                     |     |
| Ю. И. Буткевич, К. М. Мукина .....                                                                                                               | 57  |
| ОБОСНОВАНИЕ УСТАНОВКИ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ДЕТСКОГО МОЛОЧНОГО ПИТАНИЯ                                    |     |
| Е. К. Баева, В. М. Мисюченко, М. П. Симонова-Лобанок .....                                                                                       | 61  |
| ОБРАБОТКА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИМПУЛЬСАМИ ТОКА – ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОЧИЩЕНИЮ И УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА                                               |     |
| Т. В. Чубенко, А. С. Шадоба, А. Р. Борисова, Е. О. Рысцова .....                                                                                 | 64  |
| АНАЛИЗ НАРУШЕННОСТИ ТОРФЯНИКОВ ЧЕРВЕНСКОГО РАЙОНА И ПУТИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ                                                                       |     |
| О. Н. Ратникова, И. П. Лисицына, А. Т. Борш .....                                                                                                | 68  |
| АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВАЗИВНЫХ РАСТЕНИЙ В ИМПОРТЗАМЕЩЕНИИ ФИТОПРЕПАРАТОВ НА ПРИМЕРЕ SOLIDAGO SP                                     |     |
| Н. В. Емельяненко, И. А. Ровенская .....                                                                                                         | 72  |
| АНАЛИЗ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА                                                                              |     |
| О. В. Таргович, В. М. Мисюченко .....                                                                                                            | 76  |
| ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ В ЧЕРТЕ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА                                                                             |     |
| А. Д. Гиль, В. Н. Копица .....                                                                                                                   | 80  |
| РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КОТЕЛЬНОЙ НА ТОРФОБРИКЕТНОМ ЗАВОДЕ                       |     |
| М. П. Евсиевич, В. М. Мисюченко, М. П. Симонова-Лобанок .....                                                                                    | 83  |
| NEGATIVE EFFECTS OF PESTICIDES AND THE USE OF ELICITORS AS A WAY TO REDUCE PESTICIDE LOAD                                                        |     |
| V. D. Gvozdz, V. S. Znachonak .....                                                                                                              | 87  |
| ЭЛЕКТРОМОБИЛИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ                                                                                              |     |
| Н. В. Емельяненко, Т. М. Германович .....                                                                                                        | 91  |
| АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ                           |     |
| К. М. Мукина, М. Л. Синицкая .....                                                                                                               | 95  |
| МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТАНОВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА СРЕДЫ ПРИ МНОГОФАКТОРНОМ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ                                  |     |
| О. В. Лозинская, Т. П. Сергеева, Е. Т. Титова .....                                                                                              | 99  |
| ВЛИЯНИЕ ACER NEGUNDO НА ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ В ДОЛИНЕ РЕКИ ПИНА                                    |     |
| М. Н. Яхновец, Л. М. Мержвинский .....                                                                                                           | 103 |
| АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ОТ ОТРАСЛЕЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЗА ПЕРИОД 2010–2021 ГОДЫ |     |
| К. М. Мукина, М. Л. Синицкая .....                                                                                                               | 108 |

|                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| АНАЛИЗ СИСТЕМЫ «МЕНЕДЖМЕНТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ» ОАО БМЗ<br>К. М. Мукина, Е. О. Садилова .....                                                                                                                                       | 112 |
| ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВОКУПНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ<br>Р. В. Богданов, А. А. Евтерева, В. М. Василькевич, В. А. Занкевич, Л. М. Бондаренко ..... | 115 |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ<br>И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД<br>Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок, А. И. Денищик .....                                                                | 118 |
| ОЦЕНКА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА SALIX КАК ИСТОЧНИКА ПРИРОДНЫХ ТАНИНОВ<br>В. В. Медушевская, О. И. Родькин .....                                                                                                                        | 122 |
| ОБЪЕКТИВНЫЕ И СУБЪЕКТИВНЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ<br>ВОДОЁМАХ<br>Б. В. Адамович, Г. Бабаян .....                                                                                                            | 125 |
| АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ<br>В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ<br>П. П. Делянко, В. М. Мисюченко .....                                                                                          | 128 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ<br>В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И ПТИЦЕВОДСТВЕ НА ФОНЕ «УГЛЕРОДНЫХ ВЫБРОСОВ»<br>Янь Ли, В. О. Лемешевский .....                                                                   | 132 |
| ЛОКАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ<br>ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ<br>С. Е. Головатый, Е. А. Самусик, Э. И. Садовская, С. В. Савченко .....                                                        | 135 |
| СЕЗОННАЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ<br>ПОКАЗАТЕЛЕЙ В РЕКЕ ПЛИСА И СМОЛЕВИЧСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ<br>В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА СМОЛЕВИЧИ<br>Е. Я. Протасевич, В. В. Кривицкий .....                                    | 139 |
| ПЫЛЕФИЛЬТРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ Г. МИНСКА<br>(НА ПРИМЕРЕ ДЕНДРОФЛОРЫ ПАРТИЗАНСКОГО ПРОСПЕКТА)<br>З. Ж. Абдуллажонова, А. Г. Чернецкая, Н. П. Стригельская .....                                                    | 142 |
| THE IMPACT OF NITROGEN OXIDES ON THE ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH IN CHINA<br>Wu Tingting, Y. V. Zhyltsova .....                                                                                                                  | 146 |

## **ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА**

|                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НАДЗОРА ЗА ПРОВЕДЕНИЕМ<br>РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ РАБОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ДОБЫЧИ УРАНА<br>В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН<br>У. М. Мирсаидов, Б. Б. Баротов, Ф. А. Хамидов, М. З. Ахмедов, И. Мирсаидзода (И. У. Мирсаидов) ..... | 151 |
| СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ НА ТЕРРИТОРИИ<br>САНИТАРНОЙ ЗОНЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩ И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НИМ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ<br>У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Ш. А. Рахимбердиев, Е. Ю. Малышева, С. Г. Мухамедова .....                          | 154 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| БЕЛОРУССКИЙ ПОРТАЛ ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ BELNET: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА<br>С. Н. Сытова, А. Р. Барткевич, К. А. Веренич, В. В. Гавриловец, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко,<br>Н. И. Поляк, А. Л. Холмецкий, С. В. Черепица .....                                                     | 158 |
| ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ СОТРУДНИКОВ ПГРЭЗ ЗА СЧЕТ ИНГАЛЯЦИОННОГО<br>ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ<br>Н. В. Блинова, С. А. Калининченко, В. Н. Калинин .....                                                                                                                        | 163 |
| БЕЛОРУССКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УЧЕТА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ<br>НА ОСНОВЕ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ<br>С. Н. Сытова, А. П. Дунец, А. Н. Коваленко, С. В. Черепица .....                                                                                       | 167 |
| РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ<br>НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ, МИНСКОЙ И ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ В 2021–2022 ГОДАХ<br>И. В. Жук, Л. Л. Василевский, Ж. А. Лукашевич, Т. В. Лисянович, Д. В. Лукьянова,<br>Н. А. Маковская, К. В. Гусак ..... | 172 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕДУР<br>РАДОНОТЕРАПИИ<br>А. С. Басак, Т. В. Дашкевич, Н. Н. Тушин, Н. П. Минько .....                                                                                                                          | 176 |
| ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТНЫХ ВЕЛИЧИН В РАДИАЦИОННОЙ<br>БЕЗОПАСНОСТИ<br>Н. Н. Тушин, О. М. Хаджинова .....                                                                                                                                                          | 180 |
| ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В СТОМАТОЛОГИИ<br>А. А. Будько, О. М. Хаджинова .....                                                                                                                                                                                                        | 184 |
| ПОТЕРЯ ИНФОРМАЦИИ ТЕРМОЛЮМИНИСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ<br>ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ<br>В. И. Бразинский, А. Н. Скибинская .....                                                                                                                    | 188 |
| ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ДОЗИМЕТРА ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОЧНИКА<br>НА МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ<br>В. В. Бондарь, О. М. Хаджинова .....                                                                                                                                         | 191 |
| ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ТВЭЛОВ<br>ПО АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ ХЕ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1200<br>БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ<br>Э. Б. Семиренко, Н. А. Долголевич, А. А. Пунтус, А. И. Киевицкая, Т. В. Дашкевич .....              | 195 |
| <b>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ</b>                                                                                                                                                                                                             |     |
| СО-ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ<br>В. И. Назаров .....                                                                                                                                                                                                | 200 |
| ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ЛЕВИТАЦИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ<br>НЕСВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КАТУШКИ<br>В. С. Пожидаев, М. А. Лобосов, Ю. Г. Миханова .....                                                                                                                         | 203 |
| EFFICIENT USAGE OF HEAT ENERGY IN TECHNOLOGICAL PROCESSES<br>N. Malkevich, N. Belskaya .....                                                                                                                                                                                | 206 |



|                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КАРБЕНИЗИРОВАННОГО ТРОСТНИКОВОГО ВОЛОКНА В РАСТВОРНЫХ КИРПИЧАХ<br>Ван Сяньпэн, С. Н. Ковшар, С. Н. Леонович .....                                                                          | 209 |
| МОДУЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА МОДЕЛИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ<br>ДЛЯ АДАПТИВНОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ<br>И. И. Шпак, В. И. Красовский .....                                                             | 213 |
| ИНТЕНСИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КАК ФАКТОР<br>ПОВЫШЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ<br>В. В. Сивуха.....                                                                                                         | 218 |
| BENEFITS OF ECONOMIC ENTITIES THROUGH THE CO-COMBUSTION OF VARIOUS CLONES<br>FROM THE SALIX SP. GENUS AND A MIXTURE OF DIFFERENT LIGNITE SAMPLES<br>Jelena Urošević, Filip Jovanović, Vojin Tadić, Goran Trivan, Dragica Stanković..... | 221 |
| АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ<br>НА ВНУТРЕННЕМ РЫНКЕ И В МИРЕ<br>Л. А. Липницкий, П. К. Шалькевич .....                                                                                              | 226 |
| ГИДРОАККУМУЛЯТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДОПОЛНЕНИЕ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ<br>Н. К. Толеубаев, Е. К. Толеубаев, Т. С. Каргабай, Д. К. Исмаилов, А. Ж. Мырзахан, А. Ж. Касым .....                                                                  | 230 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ<br>КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА<br>О. И. Родькин, Е. В. Зеленуха.....                                                                                                              | 233 |
| ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ВИДОВ<br>ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ<br>Х. Броцкий, Г. Э. Мазейко, О. И. Родькин .....                                                                        | 236 |
| ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЖИГАНИЯ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ БИОМАССЫ НА ОСНОВЕ<br>«ТОРФ-ТРОСТНИК-ИВА» ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ<br>В. А. Пашинский, А. А. Бутко .....                                                                                | 240 |
| ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ<br>В. А. Пашинский, А. А. Бутко .....                                                                                                                           | 244 |
| <br><b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ<br/>И УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>                                                                                                                                     |     |
| ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ<br>ПРОМЫШЛЕННО-КОММУНАЛЬНОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ<br>В. Н. Штепа, П. В. Васюхневич.....                                                                                     | 249 |
| ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ОЗОНОВОГО СЛОЯ<br>А. Н. Акимов, С. И. Гуляева, А. М. Людчик .....                                                                                                                                        | 253 |
| ЭФФЕКТИВНАЯ МЕТОДИКА УЧЕТА НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ<br>ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА ОТ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ И КОНЦЕНТРАЦИЙ АНТРОПОГЕННЫХ<br>ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА<br>А. М. Людчик, А. Н. Акимов, П. Н. Павленко .....                         | 257 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ОБЛАСТНЫХ ГОРОДАХ<br>БЕЛАРУСИ<br>А. Н. Акимов, Е. А. Мельник, П. Н. Павленко .....                                                                                                                                              | 261 |
| МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ<br>А. Л. Карпей, А. Р. Самойлова .....                                                                                                                                                                          | 264 |
| ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ<br>НЕЙРОСЕТЕЙ<br>С. В. Ткаченко, Т. В. Смирнова, И. В. Лефанова.....                                                                                                                                            | 269 |
| ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА<br>СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ<br>В. В. Журавков, Н. Д. Урбанович.....                                                                                                         | 272 |
| РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ДОСТУПА<br>ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ<br>НА РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ УРОВНЯХ<br>В. В. Журавков, Б. А. Тонконогов, П. К. Шалькевич, О. А. Антонович .....                           | 276 |
| ДОПУСТИМОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ДЛЯ БЕЛОК-БЕЛКОВОГО<br>ДОКИНГА ИЗ СТАРЫХ ANDROID-УСТРОЙСТВ<br>А. Д. Казмерчук, С. Шахаб .....                                                                                                                                   | 280 |
| NETWORK SPATIAL MODELING USING THE TECHNOLOGY OF GEOGRAPHICAL<br>INFORMATION SYSTEMS IN QINGHUANGDAO CITY (PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA)<br>S. A. Lapyonok, Wei Xia, O. I. Rodzkin, A. A. Kologrivko, Y. V. Klausova .....                                                         | 284 |
| ПРОГРАММНЫЕ ПЛАТФОРМЫ КАК СРЕДСТВО ДЛЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКИ<br>ПАТОЛОГОАНАТОМИЧЕСКОГО ДИАГНОЗА<br>Н. А. Бушкевич, С. Е. Дромашко .....                                                                                                                                    | 287 |
| РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР С ПРИМЕНЕНИЕМ<br>НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ<br>Т. В. Бучукова, И. В. Лефанова, И. В. Мартинкевич.....                                                                                                                           | 291 |
| РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ SEIR ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ<br>РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИЙ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ<br>И. В. Лефанова, Т. В. Смирнова .....                                                                                                                  | 294 |
| ОБЗОР ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА<br>А. А. Будько, П. К. Шалькевич, Л. А. Липницкий .....                                                                                                                                                                 | 298 |
| ВЛИЯНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ИСХОДОВ НА РЕЗУЛЬТАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ<br>И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕТОДОМ MDR<br>В. А. Иванюкович, Е. А. Николаенко, С. Б. Мельнов, Н. В. Жур, Т. Л. Лебедь.....                                                                                                     | 301 |
| АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ<br>ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ДОСТУПА<br>ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ<br>ФАКТОРОВ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ УРОВНЯХ<br>Б. А. Тонконогов, В. В. Журавков, М. Г. Герменчук ..... | 306 |
| МОДЕЛЬ ДАННЫХ WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ<br>СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ДОСТУПА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ<br>АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ УРОВНЯХ<br>Б. А. Тонконогов, В. В. Журавков, М. Г. Герменчук .....                     | 310 |

|                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MONITORING OF BALTATA RIVER POLLUTION BY SOIL EROSION AS A PART OF A NEW BLACK SEA PROJECT IN MOLDOVA<br>E. Kuharuk, Iu. Corman .....                                                                      | 316 |
| ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ И ВОДАХ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ<br>В. В. Плесканев, П. К. Шалькевич, Л. А. Липницкий ..... | 320 |
| ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ<br>В. В. Плесканев, Д. С. Трошко, Д. С. Мишлаков, П. К. Шалькевич .....                                    | 324 |
| ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ<br>О. А. Прихач, П. К. Шалькевич .....                                                                                  | 327 |
| <br><b>ФИЛОСОФСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ<br/>СОВРЕМЕННОСТИ</b>                                                                                                                                |     |
| ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ПСИХОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ КОМБИНАЦИИ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ<br>А. О. Козорез, И. З. Олевская .....                        | 332 |
| БИОСФЕРНЫЕ РЕЗЕРВАТЫ КАК ОБЪЕКТЫ ВОПЛОЩЕНИЯ ИДЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ<br>Е. А. Кривошеева, Е. Б. Яценко .....                                                                                              | 335 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЗВУКОВЫМИ И СВЕТОВЫМИ ВОЛНАМИ. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН<br>М. В. Ленчевский, С. А. Войтова .....                                                                          | 338 |
| ПРОБЛЕМА КОНФЛИКТА ВО ВЗАИМООТНОШЕНИЯХ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ И СТУДЕНТА<br>М. Д. Марковская, И. З. Олевская .....                                                                                                  | 341 |
| КОРРЕКЦИЯ ДЕТСКИХ СТРАХОВ У СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ<br>В. В. Крицкая, И. З. Олевская .....                                                                                                      | 344 |
| СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ<br>И. А. Сергей, А. Н. Скамароха, В. И. Шерикова, Н. Д. Лепская .....                                                  | 347 |
| ФОРМИРОВАНИЕ МЕДИАГРАМОТНОСТИ СТУДЕНТОВ IT СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАНИЙ<br>Е. А. Николаенко, Е. В. Кот .....                                              | 350 |
| РОЛЬ ИДЕОЛОГИИ В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОЦИАЛИЗАЦИИ СТУДЕНТОВ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ<br>В. Н. Лучина, В. В. Сивуха, Е. Д. Пытляк .....                      | 354 |
| ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, КАК КЛЮЧЕВАЯ ДЕТЕРМИНАНТА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ И РЕГИОНОВ<br>В. Н. Лучина, С. И. Пупликов, В. В. Сивуха .....          | 357 |

МОРАЛЬНО-ПРАВСТВЕННАЯ РОЛЬ ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ  
ПРОЦЕССЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА

Ю. Г. Ермолович, ..... 361

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ РФ В КОНТЕКСТЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО Р  
АЗВИТИЯ: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РИСКИ

Д. А. Мальцева, О. Д. Сафонова, Е. В. Семенец..... 365

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УЧАЩИХСЯ В ШКОЛЕ

К. А. Гнедая, Н. В. Яблонская, В. А. Филиппенко, Е. А. Данькова..... 368

ИЗУЧЕНИЕ РОСТОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КУЛЬТУРЫ CHLORELLA SP.

И. М. Новик, Е. Э. Бондаренко, К. В. Котлярова, П. В. Симанович ..... 372



Научное издание

**САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2023 ГОДА:  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

**SAKHAROV READINGS 2023:  
ENVIRONMENTAL PROBLEMS  
OF THE XXI CENTURY**

**Материалы 23-й Международной научной конференции**

19–20 мая 2023 г.  
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях  
Часть 2

В авторской редакции

Компьютерная верстка М. Ю. Мошкова

Дизайн обложки: иллюстрация «Астролог» из второго тома трактата Роберта Флудда  
«О космическом двуединстве» (Франкфурт, 1619 год)

Подписано в печать 13.05.23. Формат 60×84 1/8.  
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 44,16. Тираж 50 экз. Заказ 165.

Республиканское унитарное предприятие

"Информационно-вычислительный центр

Министерства финансов Республики Беларусь".

Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий №1/161 от 27.01.2014, №2/41 от 29.01.2014.

ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск