

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ А. Д. САХАРОВА
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА



САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2026: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS – 2026: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY

**Материалы
26-й Международной научной конференции**

**Республика Беларусь, Минск
21–22 мая 2026 г.**

В двух частях

Часть 2

Минск
БГУ
2026

УДК 502/504(06)
ББК 20.1я431
С22

Редакционная коллегия:

доктор медицинских наук, профессор *А. Н. Батян* (гл. ред.);
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *С. Е. Головатый*;
кандидат филологических наук, доцент *Н. Н. Довгулевич*;
кандидат биологических наук, доцент *Н. В. Иконникова*;
кандидат экономических наук, доцент *С. И. Пупликов*;
доктор физико-математических наук, доцент *Н. А. Савастенко*;
доктор химических наук, профессор *С. Н. Шахаб*;
И. В. Пухтеева

Рецензенты:

доктор биологических наук, профессор *О. И. Родькин*;
кандидат технических наук, доцент *М. Г. Герменчук*

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

Сахаровские чтения – 2026: экологические проблемы XXI века = Sakharov
C22 readings – 2026 environmental problems of the XXI century : материалы 26-й Междунар.
науч. конф., 21–22 мая 2026 г., Респ. Беларусь, Минск. В 2 ч. Ч. 2 / Бел. гос. ун-т ; Меж-
дунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та ; редкол.: А. Н. Батян
(гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2026. – 339 с.
ISBN 978-985-881-961-3.

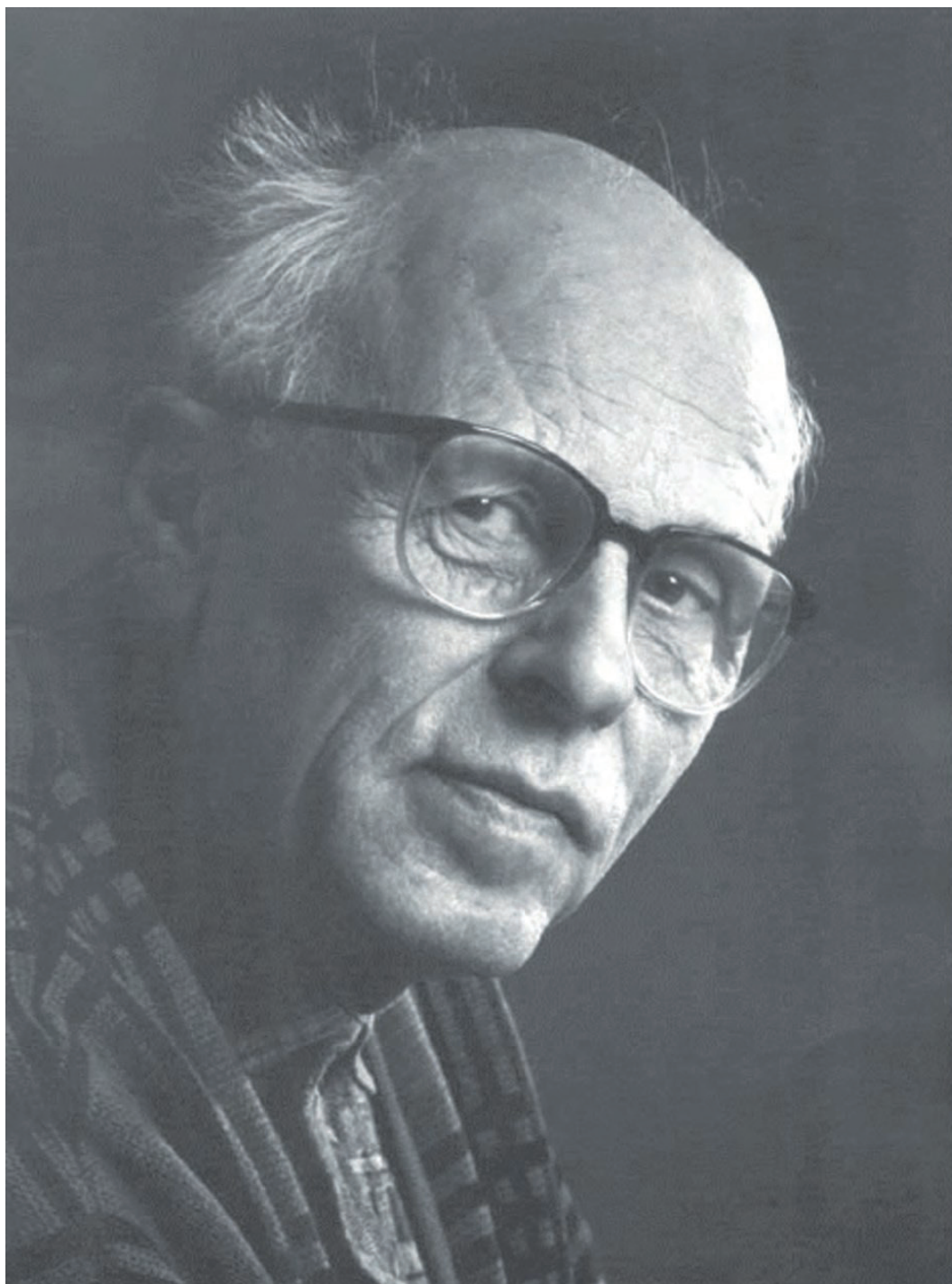
Во второй части материалов 26-й конференции представлены доклады по вопросам экологической безопасности и менеджмента, информационных технологий в оценке качества окружающей среды. Рассмотрены социально-экономические аспекты экологии и урбоэкологии, а также подготовка специалистов экологического профиля к профессиональной и межкультурной коммуникации.

Материалы конференции индексируются в библиографической базе данных научных публикаций РИНЦ и имеют цифровой идентификатор DOI.

УДК 502/504(06)
ББК 20.1я431

ISBN 978-985-881-961-3 (ч. 2)
ISBN 978-985-881-959-0

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2026
© Оформление. БГУ, 2026



АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ САХАРОВ

(21 мая 1921–14 декабря 1989 г.)

Уважаемые читатели!

Представляем материалы докладов участников 26-й Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2026 года: экологические проблемы XXI века». Ежегодно по доброй традиции учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета в 3-й декаде мая проводит эту конференцию, которая является национальным и интернациональным форумом для обсуждения злободневных экологических проблем регионального и глобального масштаба.

В 2026 году Международная научная конференция «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века» посвящена знаковому событию в истории Беларуси и учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета – сорокалетней годовщине катастрофы на Чернобыльской АЭС. За прошедшие десятилетия наша страна прошла трудный путь по обеспечению радиационной безопасности человека и окружающей среды. Научное сопровождение деятельности по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в Республике Беларусь обеспечено на высоком профессиональном уровне, и в этом большая заслуга ученых – работников нашего Института. Мы с благодарностью вспоминаем имена А. М. Люцко, В. А. Милютин, С. П. Кундаса, В. А. Чудакова, В. П. Миронова, Н. В. Гончаровой, других ученых, которые для наших студентов и молодых ученых стали примером служения науке и обществу.

Сегодня учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета с гордостью несет свою почетную миссию – быть базовой организацией стран СНГ по экологическому образованию, осуществлять координацию учебно-научно-методической деятельности, осуществлять подготовку и формировать мировоззрение выпускников с учетом задач и требований устойчивого развития общества.

В 2026 году в конференции приняли участие, кроме отечественных авторов, представители науки Армении, Ирака, Китая, России, Сербии, Таджикистана, Турции, Узбекистана.

Как и в прошлые годы, программа конференции включает обширный спектр актуальных экологических проблем в областях радиационной биологии и радиоэкологии, медицинской экологии и эпидемиологии, медицинской физики, экологической химии и биохимии, биофизики и молекулярной 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, подготовки специалистов экологического профиля к профессиональной и межкультурной коммуникации.

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, унитарному предприятию «Кока-Кола Бевриджиз Белоруссия» и др. за моральную и материальную поддержку, без которой невозможно проведение Международной научной конференции «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века».

Хочу поблагодарить всех, кто заинтересован в решении проблем экологической безопасности как важнейшего фактора, определяющего устойчивое развитие человеческого сообщества в XXI веке и приглашаю участвовать в традиционной Международной научной конференции «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века» в последующие годы.



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

О. И. Родькин

СЕКЦИЯ 4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И МЕНЕДЖМЕНТ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

SEASONAL INVESTIGATION of FRESHWATER RESOURCES FLOWING INTO GÖKOVA BAY (MUGLA-TURKEY)

Y. Acar¹⁾, K. Kaçan¹⁾, B. Olgun¹⁾, N.Özdemir^{*id¹⁾}

¹⁾ Fisheries of Faculty, Mugla Sıtkı Kocman University, Mugla, 48000, Türkiye onedim@mu.edu.tr

Gökova Bay is a sensitive tourism in southern west of Turkey and on the southern east of Aegean Sea. The research area which is a quiet town in the winter, becomes lively in the summer during the tourism season. This study was carried out in Kadın and Akçapınar Creek and Çamlı Stream, which are among the freshwater sources supplying the Bay of Gökova. In this study, which was conducted seasonally between August 2023- and April 2024, water samples were taken from 15 different strategic points from the freshwater resources supplying the Bay of Gökova and some physico-chemical parameters were analyzed. Physico-chemical of analyses of the water samples collected from the selected stations were carried out at accredited Water Analysis Laboratory in Research Laboratories Center of Muğla Sıtkı Koçman University. The analysis results indicate that intensive tourism activities, overuse of coastal areas, boat maintenance in shipyards, and daily boat trips have caused a decline in water quality and an increase in environmental pollution at certain sampling stations.

Keywords: Gökova Bay; water quality; Environmental impacts; Freshwater resources.

СЕЗОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОРМЛЕНИЯ ПРЕСНОВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В ЗАЛИВЕ ГЁКОВА (МУГЛА, ТУРЦИЯ)

Ю. Акар¹⁾, К. Качан¹⁾, Б. Ольгун¹⁾, Н. Оздемир^{*ид¹⁾}

¹⁾ Факультет рыболовства, Университет Мугла Ситки Кочман, Мугла, 48000, Турция onedim@mu.edu.tr

Залив Гёкова-это важный туристический объект на юго-западе Турции и юго-востоке Эгейского моря. Этот район, представляющий собой тихий городок зимой, оживает летом, в туристический сезон. Данное исследование проводилось в ручьях Кады и Акчапинар, а также в ручье Чамлы, которые являются одними из источников пресной воды, питающих залив Гёкова. В ходе исследования, проводившегося сезонно с августа 2023 года по апрель 2024 года, были отобраны пробы воды из 15 различных стратегических точек пресноводных источников, питающих залив Гёкова, и проанализированы некоторые физико-химические параметры. Физико-химический анализ проб воды, отобранных на выбранных станциях, проводился в аккредитованной лаборатории анализа воды в научно-исследовательском центре Университета Мугла Ситки Кочман. При изучении результатов анализа было установлено, что в результате интенсивной туристической деятельности, чрезмерного использования прибрежных полос, обслуживания судов на судоремонтных верфях и ежедневных морских прогулок происходит ухудшение показателей качества воды в пробах, отобранных на некоторых станциях, и увеличение уровня загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: Залив Гёкова; качество воды; воздействие на окружающую среду; пресноводные ресурсы.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-5-7>

Introduction. Recently in settlement areas in Turkey, similar to many other parts of the world, the fresh water systems and natural structures of the sea, especially the ones under the pressure of various organic and inorganic pollutants, are being deformed and these regions which are quite productive in terms of fishery products are getting infertile because of the population growth, industrialization, intense agricultural activities and agricultural malpractices [1].

It has been expressed that, caused by pollution in one hand and unplanned utilization and developments in the other, coastal areas and seas of Turkey lost their prosperity of natural resources and according to international standards, in many parts of Turkey, coastal waters especially gulfs and estuaries have high pollution percentages [2; 3].

The reason of these are; unplanned and unhealthy developments on the coastal zones, transportation deficiencies, water pollution caused by discharging the urban sewage into the sea without treatment, dumping garbage into the sea, and as the most important change occurring in the water environment is the transportation of land originated materials to the coastal areas, thus to face many problems such as eutrophication [4].

The Mediterranean Region is one of the world's top mass tourism destinations and tourist flows to this region are constantly increasing. The tourism trade benefits from the quality and variety of the region's natural heritage and landscapes. But its rapid development following the rise in the standard of living and increase in leisure time is taking a toll on the environment. Thus, Gökova Bay has been chosen as a research area where Turkey's southwest Mediterranean Sea with the Aegean Sea in a junction region. Gökova Bay (Fig. 1) is a sensitive tourism in southern west of Turkey and on the southern east of Aegean Sea. The research area which is a quiet town in the winter, becomes lively in the summer during the tourism season [5–8].



Fig. 1. This Gökova Bay

Materials and methods. In this study, which was conducted seasonally between August 2023-and April 2024, water samples were taken from 15 different strategic points (Fig. 2) from the freshwater resources feeding the Bay of Gökova and some physico-chemical parameters were analyzed. Physico-chemical of analyses of the water samples collected from the selected stations were carried out at accredited Water Analysis Laboratory in Research Laboratories Center of Muğla Sıtkı Koçman University.

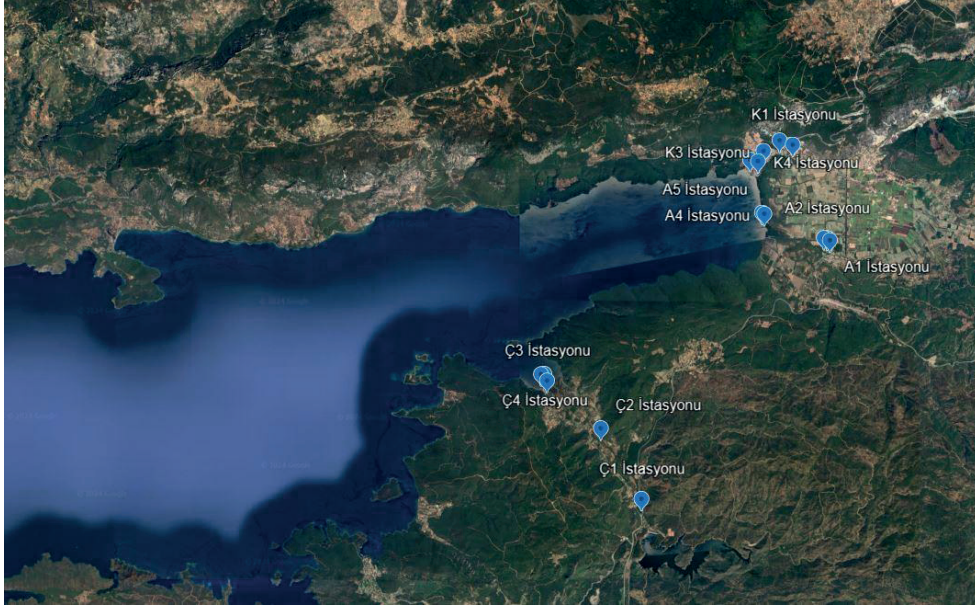


Fig. 2. Introduction of stations in the research area

Results. Results of the study were determined as: water temperature (15.00- 28.60°C), pH (7.03- 8.80), electrical conductivity (513-52516 μScm^{-1}), Salinity (0.25-34.57 ‰) dissolved oxygen (1.19 -9.73 mgL^{-1}), oxygen saturation (8.12-100.60 %), BOI5 (0.89-7.22 mgL^{-1}), nitrite nitrogen (BDL-0.02 mgL^{-1}), nitrate nitrogen (BDL-3.22 mgL^{-1}), ammonia nitrogen (0.01-0.56 mgL^{-1}), suspended solids (0.63-178.33 mgL^{-1}), total phosphorus (BDL-2.44 mgL^{-1}) and ortho-phosphate (BDL-0.19 mgL^{-1}). Physico-chemical datas were evaluated in accordance with the Legislation of Water Pollution Control. As a conclusion of this study the pollution in Kadın Creek, Akçapınar Creek and Çamlı Stream were seen to be mostly influenced by a combination of tourism activities, domestic waste and daily boat traffic.

Conclusion. In consequence of this evaluation, it is considered that the pollution in Gökova Bay was caused by mostly mixed of tourism activities and anthropogenic factors (most of agricultural activities, wastewater and pesticide).

References

1. Döndü M., (2015) Spatial Analysis and Evaluation of Some Physicochemical Parameters in Freshwater Sources Feeding Gökova Bay Using Geographic Information System. Master's Thesis (Published). MSKÜ, Institute of Science, 129 pages. Muğla.
2. Göksu Z. L., (2015) Water Pollution (Textbook), Akademisyen Kitapevi, Balcalı Ankara, 200s.
3. Gülşen H. İ., (2017) Pollution Analysis of Bottom Sediments of Köyceğiz Lake and Fethiye-Göcek Bay, SW Turkey. Master's Thesis, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, 120 pages.
4. Maraşlıoğlu F., Gönüloğlu A., Bektaş S., (2017) Assessment of Water Quality in Mert Stream (Samsun, Turkey) Base on Some Physico-chemical Parameters, Ecology Symposium 2017 Proceedings Book of Full Papers, Kayseri, Turkey, pp. 77-89.
5. Erdinç S.Ö. (2010) Water Quality Analysis of Kadın Azmağı and Akçapınar Azmağı Streams Feeding Gökova Bay, Master's Thesis, Muğla University Institute of Science, Muğla, 88 pages.
6. Kayan I. (1971) Physical Geography Research in Gökova and its Surroundings. Ankara University Journal of Geographical Studies, Issue: 3-4, Pages: 295-336.
7. Kushan D., Yusufoglu A. (2008) Gökova Special Environmental Protection Area, Proceedings of the Türkiye Coasts '08 Congress, Ankara, 532 pages.
8. Water Quality and Marine Biodiversity in the Inner Gulf of Gökova / A. N. Tarkan [et al.] // Muğla University Publication, SMAP III Gökova Project, (2009), pp. 6-12.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАРОВОГО РИФОРМИНГА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ РАЗЛИЧНОГО КЛАССА ОПАСНОСТИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А. В. Башаричев¹⁾, В. А. Голиков¹⁾, И. С. Окунев¹⁾, В. Я. Сиротюк¹⁾, В. А. Иванов²⁾

¹⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», мкр. Орлова роща, д.1, 188300, г. Гатчина, Ленинградская область, Россия, nckb@pnpi.nrcki.ru

²⁾ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5, 197022, г. Санкт-Петербург, Россия, nckb@pnpi.nrcki.ru

Глобальная проблема современности – антропогенное загрязнение объектов окружающей среды (Из доклада Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) от 28.02.2024). Перед Россией и всем мировым сообществом стоит задача снижения объема бытовых и производственных отходов с вторичным применением продукта переработки в производстве. Предлагаемый процесс утилизации отходов методом парового риформинга может рассматриваться, как технология пиролиза в восстановительной среде водяного перегретого пара.

Ключевые слова: паровой риформинг; утилизация отходов; исследования; зольные остатки; экология; элементы переработки для вторичного применения.

APPLICATION OF VAPOR REFORMING TECHNOLOGY IN THE PROCESSING OF WASTE OF VARIOUS DANGER CLASSES, INCLUDING REHABILITATION OF POLLUTED SURFACES

A. V. Basharichev¹⁾, V. A. Golikov¹⁾, I. S. Okunev¹⁾, V. Ya. Sirotyuk¹⁾, V. A. Ivanov²⁾

¹⁾ Federal State Budgetary Institution “B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the National Research Center “Kurchatov Institute”, 1 Orlova Roshcha, 188300, Gatchina, Leningrad Region, Russia, nckb@pnpi.nrcki.ru

²⁾ V.I. Ulyanov (Lenin) Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, 5 Professora Popova Street, 197022 Saint Petersburg, Russia, nckb@pnpi.nrcki.ru

Anthropogenic environmental pollution is a global challenge (United Nations Environment Programme, 2024). Russia, along with the global community, faces the challenge of reducing household and industrial waste and integrating recycled materials into production processes. The proposed waste treatment process, based on steam reforming, can be considered a pyrolysis technology that operates in a reducing environment of superheated water vapor.

Keywords: steam reforming; waste treatment; ash residues; environmental impact; secondary raw materials.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-8-12>

Федеральный закон РФ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ определяет правовые основы обращения с отходами производства и потребления в целях предотвращения их вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечения таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Основными способами утилизации отходов считаются захоронение, сжигание и переработка, из которых переработка – самый экологичный способ утилизации.

НИИ «Курчатовский институт» – ПИЯФ проводит исследования возможности использования технологии парового риформинга по утилизации отходов различных классов опасности.

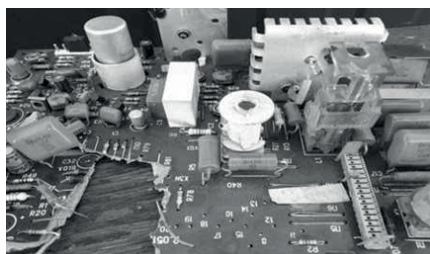
Инновация и основа предлагаемой технологии заключается в конверсии отходов в среде водяного пара (T пара до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) при атмосферном давлении в синтетический газ ($\text{CO}+\text{H}_2$) и твёрдый углеродистый остаток преимущественно V класса опасности, часть которого может направляться на вторичное использование. Для обеспечения энергией зоны сушки предусмотрен перегрев водяного пара и летучих углеводородов внешним пароперегревателем за счет микроволновой энергии.

Основные конечные продукты утилизации – синтез-газ и твердые зольные остатки V класса опасности с объёмом в 10-12 раз меньше начального.

Зольные остатки при определенных условиях возможно вторично использовать, в том числе в сложных технологических процессах.

Проводится цикл научно-исследовательских работ применимости технологии для утилизации следующих видов отходов: электронного лома (плат, изолированных проводов, микросхем), бытовых батареек и аккумуляторов, элементов солнечных батарей, картонных упаковок (в т.ч. ламинированных, с пропиткой и металлизированных), загрязненных нефтесодержащими продуктами, отработанных ионообменных смол (ОИОС) АЭС (переработка и кондиционирование ЖРО), побочных продуктов животноводства, птицеводства, углеродосодержащих (древесных, тканевых искусственных и натуральных, целлюлозы и ее составляющих), содержащих каучук и его составляющих, катализаторов гидрокрекинга, промышленных, коммунальных отходов и т. д.

Примеры верификации технологии утилизации некоторых видов отходов представлены на рис. 1–8.



a



б

Рис. 1. Электронные платы:

a – вид до обработки; *б* – вид после обработки

Исходные массы деталей и трансформатора 30-40 гр. и 140 гр. соответственно. Обработка паром образцов в течение 10-12 мин при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, трансформатора 25 мин при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$. По окончании процесса видимые газы от разложения отсутствуют.

По результатам исследования в остатке угля: 16 гр., меди 24,8 гр., цветных металлов 10,6 гр., магнитопроводов 64 гр.



a



б

Рис. 2. Электропровода:

a – вид до обработки; *б* – вид после обработки

Режим обработки электропроводов: Т пара = 450 °С, t = 10 мин.

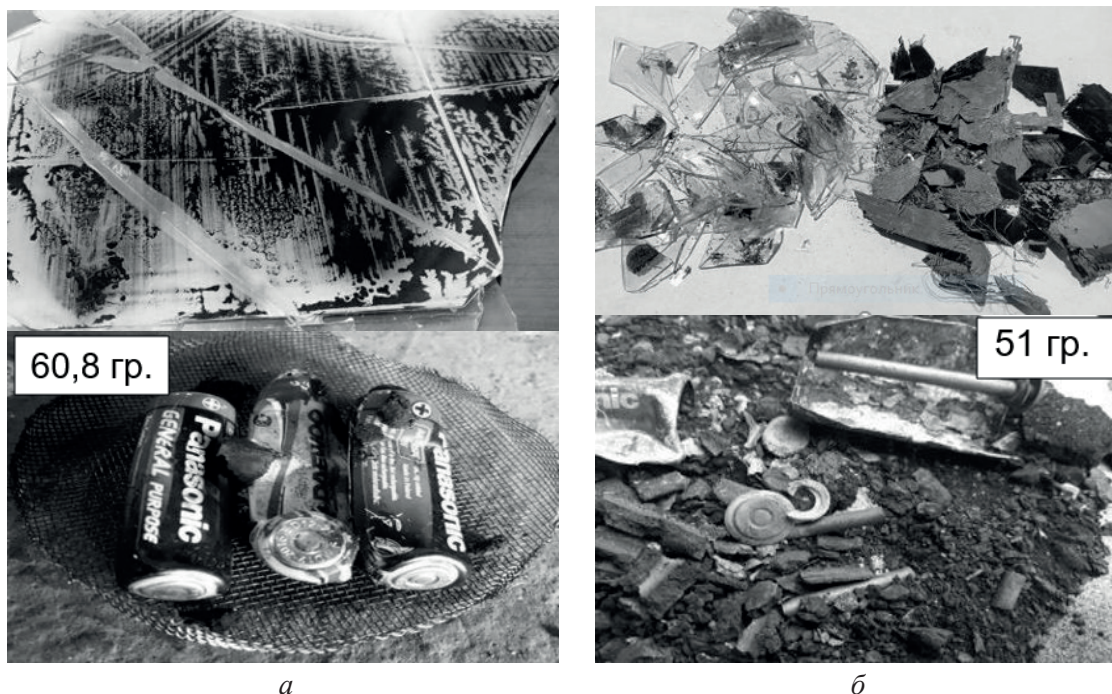


Рис. 3. Солнечные батареи, батарейки, аккумуляторы:
а – вид до обработки; *б* – вид после обработки

Режим обработки солнечных батарей, батареек, аккумуляторов: Т пара = 900 °С, t = 30 мин.

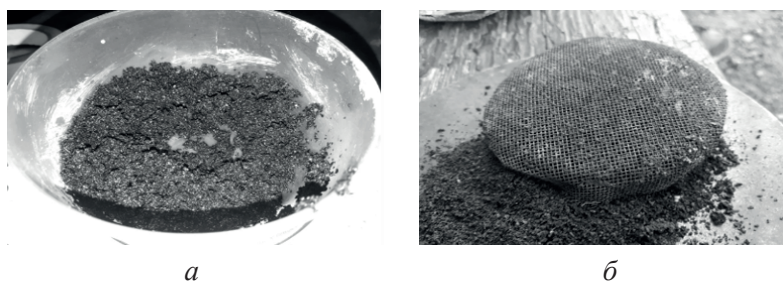


Рис. 4. Гальванические отходы:
а – вид до обработки; *б* – вид после обработки

Начальная масса кислоты 27,9 гр., сорбента лигнина 15,4 гр, обработка при Т пара = 935 °С в течении 30 мин с охлаждением пара до 300 °С. Результат – конечная масса остатка 15,4 гр.
Примечание. Сера в 100% количестве осталась в твердом остатке.

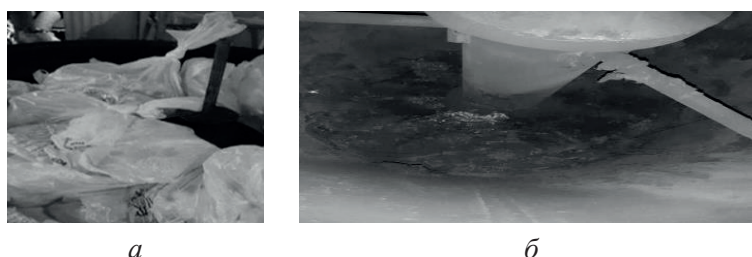


Рис. 5. Медицинские отходы:
а – вид до обработки; *б* – вид после обработки

Лабораторный анализ категории опасности зольного остатка от утилизации медицинских отходов методом парового риформинга показал, что исследуемая проба остатка относится к категории малоопасных отходов 4 класса опасности в соответствии с «Критериями отнесения отходов к 1-5 опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (Законодательство РФ).

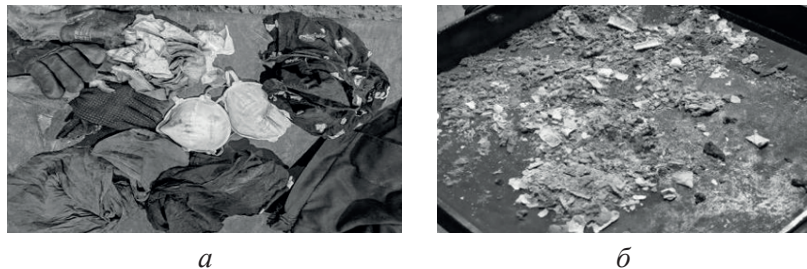


Рис. 6. Загрязненные СИЗ:
а – вид до обработки; б – вид после обработки



Рис. 7. Упаковки «Тетропак»:
а – вид до обработки; б – вид после обработки

Режим обработки упаковки «Тетропак»: Т пара = 450 оС, t = 10 мин.

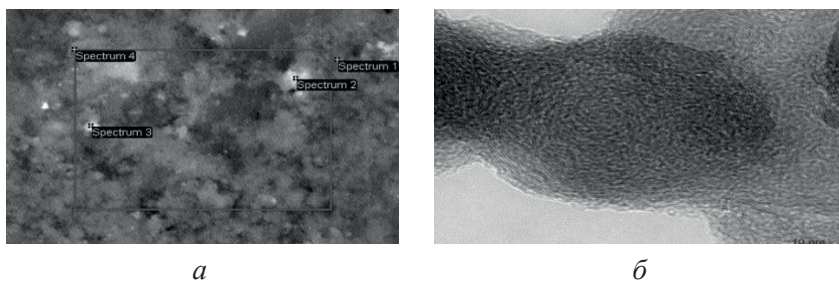


Рис. 8. Побочные продукты птицеводства после обработки:
а – общий вид структуры остатка; б – вид структуры углерода

Исследования структуры остатка осуществлялось научный центром Санкт-Петербургского государственного университета методом просвечивающего электронного микроскопа.

Общий анализ агломератов показал наличие луковичной структуры углерода (аналога астраленов) и микроэлементов Mg, Cl, Na, Ca, K, P, Cu, Zn, Fe, B, S.

Таким образом, технология позволяет предотвратить негативное воздействие побочных продуктов птицеводства на окружающую среду и создать новые виды удобрений.

При применении технологии по утилизации смешанных твердых коммунальных отходов (ТКО) вырабатывается пиролизный газ с содержанием водорода $32 \pm 3 \%$ и теплоты сгорания 33 МДж /м³. Эффективность состава пиролизного газа подтверждена химико-аналитическим центром «АРБИТРАЖ» ФГУП «ВНИИМ им. Менделеева» (РФ).

Получаемый в процессе утилизации отходов газ может послужить энергетическим ресурсом для производственно-бытовых нужд.

Наиболее востребованными и перспективными направлениями применения технологии с использованием метода парового риформинга могут быть:

1) повышение эффективности обогащения металлоносных углей.

Для металлоносных углей характерны аномально высокие (в сравнении с бурыми углями) концентрации Ge, Sb, Hg, W, Li, Be, Cs, и As.

Обработка металлоносного угля высокоэнергичным паром позволяет получить зольный остаток с большим содержанием металлов, в том числе редкоземельных (РЗМ).

Обладающие магнитными свойствами элементы могут быть извлечены без дополнительной обработки.

2) переработка жидких токсичных отходов.

Проведены работы по пробной утилизации образцов жидких токсичных и химических отходов (ЖТО), взятых с различных уровней по глубине залегания хранилищ полигона «Красный Бор».

В результате исследований по утилизации ЖТО с использованием перегретого высокотемпературного пара получен твердый углеродистый остаток с содержанием металлов, в том числе драгоценных.

3) утилизация отработанных ионообменных смол (ОИОС).

С использованием метода парового риформинга проведён 1-й этап исследований по утилизации ОИОС с имитаторами радионуклидов АЭС.

Время воздействия пара на загрязненные ОИОС составлял от 30 до 120 мин с температурным режимом от 400 до 1000 °С.

Результаты экспериментов показали уменьшение массы остатка в 20–40 раз.

Заключение.

Применение технологии парового риформинга при переработке отходов различного класса опасности является эффективным и экологически безопасным способом утилизации с возможностью вовлечения во вторичный оборот материалов, а также использования дополнительных источников энергии.

Библиографические ссылки

1. Утилизация горючих, токсичных и радиоактивных отходов методом парового риформинга / Башаричев А. В. [и др.] // Перспективные технологии и материалы: Материалы Международной научно-практической конференции. 2022. С. 399–402.

2. Конверсия углеродсодержащих материалов в среде высокотемпературного водяного пара / Прибатурин Н. А. [и др.] // Вестник КузГТУ. 2010. № 4, С. 89–93.

3. Решение задач утилизации сухозаряженных накопителей электроэнергии и электронных компонентов методом парового риформинга / Башаричев А.В. [и др.] // VI научно-практическая конференция Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров. 2024. С. 7–8.

4. Возможности технологии парового риформинга по утилизации отходов / Башаричев А. В. [и др.] // Управление техносферой. 2025. С. 458–469.

5. Газета Коммерсантъ. 2021. № 170. С. 9.

ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЁТА НУТРИТИВНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПАЦИЕНТОВ

К. В. Бодяков¹⁾, В. А. Иванюкович²⁾, Е. В. Кот²⁾, И. А. Тавгень²⁾, М. Д. Шилов²⁾

¹⁾ Отделение анестезиологии и реанимации, Центр сердечно-сосудистой хирургии, УЗ «Могилёвская областная клиническая больница», ул. Бялыницкого-Бирули, 12Б, г. Могилев, 212026, Беларусь, kirill_bodyakov@mail.ru

²⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Беларусь, iva@iseu.by

Разработано мобильное программное приложение для операционной системы Android, предназначенное для оценки нутритивного статуса и расчёта потребности в энтеральном и парентеральном питании. Поддерживается расчёт должного расхода энергии с учётом клинического состояния пациента, температуры тела, физической активности и дефицита массы тела. Приложение рассчитывает потребность в белках, жирах и углеводах, а также утилизацию азота на основании биохимических показателей. Встроены базы смесей для энтерального и парентерального питания с автоматическим подбором состава и количества в зависимости от расчётных потребностей.

Ключевые слова: нутритивная поддержка; ИМТ; основной обмен; белки; жиры; углеводы; азотистый баланс; энтеральное питание; парентеральное питание; смеси для питания; Android; Python; Kivy.

ANDROID APPLICATION FOR NUTRITIONAL SUPPORT ASSESSMENT AND CALCULATION

K. Badziakou¹⁾, U. Ivanyukovich²⁾, E. Kot²⁾, I. Tavgen²⁾, M. Shylau²⁾

¹⁾ Department of Anesthesiology and Intensive Care, Center for Cardiovascular Surgery, Magilew Regional Clinical Hospital, Byalynitskaga-Biruli str, 12B, Magilew, 212026, Belarus, kirill_bodyakov@mail.ru

²⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, Minsk, 220070, Belarus, iva@iseu.by

A mobile software application for the Android operating system has been developed for assessing nutritional status and calculating enteral and parenteral nutrition requirements. It supports the calculation of appropriate energy expenditure based on the patient's clinical condition, body temperature, physical activity, and body weight deficit. The application calculates protein, fat, and carbohydrate requirements, as well as nitrogen utilization based on biochemical parameters. A database of enteral and parenteral nutrition mixtures is integrated, which automatically selects the composition and quantity based on estimated needs.

Keywords: nutritional support; BMI; basal metabolic rate; REE; proteins; fats; carbohydrates; nitrogen balance; enteral nutrition; parenteral nutrition; nutritional formulas; Android; Python; Kivy.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-13-17>

Рациональное нутритивное обеспечение пациентов – ключевой элемент современной интенсивной терапии и анестезиологии-реаниматологии, а также важный компонент комплексного ведения пациентов в хирургии, гастроэнтерологии и онкологии [1]. Своевременная и точная оценка нутритивного статуса, уровня энергетических затрат и суточной потребности в макроэлементах позволяет снизить риск осложнений, сократить длительность пребывания в стац-

онаре и повысить эффективность терапии. При этом ручные расчёты нутритивной поддержки отнимают значительное время у медицинского персонала, особенно в условиях динамически изменяющегося состояния пациента.

Мобильное приложение предназначено для автоматизации процессов расчёта и подбора нутритивной поддержки. В нём реализованы ключевые формулы и рекомендации по оценке нутритивного состояния и расчёту параметров питания:

- определение индекса массы тела (ИМТ) и его интерпретация с классификацией нутритивного статуса;
- расчёт рекомендованной, метаболической и фактической массы тела с учётом состояния пациента;
- определение основного обмена по нескольким формульным подходам (в т.ч. Харрис-Бенедикт);
- расчёт должного расхода энергии (ДРЭ) с использованием коэффициентов метаболической поправки (КМП);
- оценка потребности в белках, жирах и углеводах, а также скорости их утилизации;
- расчёт азотистого обмена по мочеvine и потребности в белке и калориях;
- подбор смесей энтерального и парентерального питания из встроенного справочника.

ИМТ рассчитывается по стандартной формуле $ИМТ = МТ/Р^2$, где МТ – масса тела (кг), Р – рост (м). В зависимости от полученного значения производится классификация нутритивного статуса (табл. 1).

Таблица 1

Классификация нутритивного статуса по индексу массы тела (ИМТ)

ИМТ (кг/м ²)	Классификация
< 18	Истощение
18–20	Возможное истощение
20–25	Нормальное значение
26–29	Повышенное питание
30–34	Ожирение I степени
35–40	Ожирение II степени
> 40	Ожирение III степени

Для расчёта рекомендованной массы тела (РМТ) мужчин и женщин используются формула Лоуренса [1]: мужчины – $РМТ = Р - 100 - 0,2 \cdot (Р - 152)$; женщины – $РМТ = Р - 100 - 0,4 \cdot (Р - 152)$, где Р – рост (см).

Программа автоматически определяет, какая масса тела должна использоваться в расчётах:

- при истощении расчёты производятся на фактическую массу тела (ФМТ),
- при ожирении – на РМТ,
- при ИМТ > 40 кг/м² используется метаболическая масса тела $ММТ = РМТ + 0,5 \cdot (ФМТ - РМТ)$.

Расчёт основного обмена (ОО) выполняется двумя методами:

а) По упрощённой схеме: мужчины – $ОО = 25 \cdot ФМТ$; женщины – $ОО = 20 \cdot ФМТ$.

б) По формуле Харриса-Бенедикта [1]: мужчины – $ОО = 13,397 \cdot МТ + 4,799 \cdot Р - 5,677 \cdot В + 88,362$; женщины – $ОО = 9,247 \cdot МТ + 3,089 \cdot Р - 4,330 \cdot В + 447,593$, где МТ – масса тела (кг), Р – рост (см), В – возраст (лет).

Для метаболического мониторинга энергопотребления приложение рассчитывает оценку энергетической потребности. Для этого реализованы также два метода:

- 1) эмпирический метод:
 - 25–30 ккал/кг/сут – при умеренном стрессе,
 - 35–40 ккал/кг/сут – при тяжёлом стрессе.

2) формулы Харриса-Бенедикта (альтернативная версия) [3]:

– мужчины: $\text{ЭП} = 66,47 + 13,75 \cdot \text{МТ} + 5 \cdot \text{Р} - 6 \cdot \text{В}$,

– женщины: $\text{ЭП} = 655,1 + 9,56 \cdot \text{МТ} + 1,85 \cdot \text{Р} - 4,68 \cdot \text{В}$,

где ЭП – энергетические потребности (ккал/сутки), также называется BMR (basal metabolic rate), МТ – масса тела (кг), Р – рост (см), В – возраст (лет).

Для расчёта должного расхода энергии (ДРЭ) используется формула $\text{ДРЭ} = \text{ОО} \cdot \text{КМП}$, где ОО – основной обмен, КМП – коэффициент метаболической поправки, учитывающий клиническое состояние пациента (табл. 2).

Таблица 2

Факторы, влияющие на коэффициент метаболических потребностей (КМП)

КМП	Фактор повреждния (ФП)	Температурный фактор (ТФ)	Физическая активность (ФА)	Дефицит массы тела
1,1	Небольшие операции	38 °С	Постельный режим	10–20 %
1,2	Переломы костей	39 °С	Полупостельный режим	20–30 %
1,3	Большие операции	40 °С	Ходячий	> 30 %
1,4	Перитонит	41 °С	–	–
1,5	Сепсис	–	–	–
1,6	Политравма	–	–	–
1,7–2,2	Ожоги от 30 до 90 % поверхности	–	–	–

Значения КМП учитываются при автоматическом расчёте энергопотребности в зависимости от тяжести состояния пациента [3]. Врач может выбрать соответствующее клиническое состояние из списка, и приложение произведёт корректировку ДРЭ автоматически.

Расчёт суточной потребности в нутриентах производится с учётом массы тела и клинической ситуации. В приложении реализованы как диапазоны потребностей, так и расчётные скорости утилизации [1] (табл. 3).

Таблица 3

Суточная потребность и скорость утилизации основных нутриентов

Нутриент	Суточная потребность	Скорость утилизации
Белки	0,8-1,5 г/кг/сут	0,1 г/кг/ч
Жиры	1-1,5 г/кг/сут	0,1 г/кг/ч
Углеводы	4-6 г/кг/сут	0,1-0,5 г/кг/ч

Азотистый баланс отражает адекватность белковой поддержки и рассчитывается на основании концентрации мочевины в моче [2]. Приложение автоматически рассчитывает:

1) общий азот мочи (г/сут): $N = (\text{Мочевина (ммоль/л)} \cdot 0,028) \cdot \text{Объем мочи (л)} \cdot 0,466 \cdot 100/80$;

2) потребность в белке (г/сут): $\text{Белки} = N \cdot 6,25$;

3) энергетическая потребность, связанная с белковым обменом (ккал/сут): $\text{Ккал} = N \cdot (180-200)$.

Результаты отображаются с пояснением и используются для подбора смесей при парентеральном и энтеральном питании.

Приложение содержит встроенную базу данных смесей для энтерального питания с указанием их состава, калорийности и объёма выпуска. Алгоритм подбора осуществляется по суточной потребности в белках, жирах, углеводах и калориях, рассчитанных ранее. Программа автоматически рассчитывает необходимое количество упаковок каждой смеси и отображает таблицу итоговых значений.

Приложение включает встроенный справочник смесей для парентерального питания, содержащий информацию о содержании белков (в виде аминокислот), жиров, углеводов и калорийности на единицу объёма. Алгоритм подбора смесей для парентерального питания основан на ранее рассчитанной суточной потребности пациента в макронутриентах и учитывает допустимую скорость утилизации каждого компонента [1]. Врач может выбрать любые смеси из разных категорий (аминокислотные, жировые эмульсии, растворы глюкозы), после чего приложение автоматически рассчитывает их количество, общий объём, суточное поступление нутриентов и энергетическую ценность. Результаты представлены в виде таблицы с итоговыми показателями по каждому нутриенту и общей калорийности. Алгоритм помогает обеспечить точное и безопасное парентеральное питание в условиях интенсивной терапии.

Приложение работает под управлением операционной системы Android. Оно реализовано на языке Python с использованием фреймворка Kivy, обеспечивающего кроссплатформенную основу для функционирования на устройствах с операционной системой Android, а также потенциально на iOS, Windows, macOS и Linux. Для навигации между функциональными модулями используется компонент ScreenManager, обеспечивающий удобное разделение по вкладкам с логической структурой пользовательского интерфейса [4; 5].

Приложение содержит семь основных вкладок, каждая из которых выполняет специфическую функцию:

1) Экран «ИМТ»

Отображает расчёты индекса массы тела (ИМТ), фактической массы тела (ФМТ), основного обмена (ОО) по различным формулам, а также результаты метаболического мониторинга энергопотребления. Параметры обновляются автоматически при изменении исходных данных.

2) Экран «ДРЭ»

Рассчитывает должный расход энергии (ДРЭ) на основании формул, учитывающих массу тела, и выбранных пользователем коэффициентов метаболической поправки (КМП). Отображаются формула, итоговое значение и использованные коэффициенты (температурный, стресс-фактор, физическая активность и др.).

3) Экран «Нутриенты»

Производится расчёт суточной потребности и скорости утилизации для белков, жиров и углеводов в зависимости от массы тела и клинической ситуации. Реализован отдельный блок для расчёта потребности в белке на основе мочевины мочи и суточного объёма диуреза, с последующим определением азотистого баланса и калорийной потребности на основании потерь азота.

4) Экран «Энтеральные смеси»

Программа осуществляет подбор смесей для энтерального питания по двум алгоритмам:

- расчёт по суточной потребности в белке,
- расчёт по должной энергетической потребности (ДРЭ) (ккал).

Количество упаковок каждой смеси подбирается с минимизацией расхождений между рассчитанными и фактическими значениями нутриентов. Отображаются данные по белкам, жирам, углеводам и калорийности с итоговыми таблицами.

5) Экран «Парентеральные смеси»

Производится автоматический подбор парентеральных растворов с учётом суточной потребности в нутриентах и скорости утилизации. Реализована логика пропорционального распределения белков, жиров и углеводов по доступным смесям. Программа рассчитывает объёмы и общее содержание нутриентов по каждой смеси.

6) Экран «Показания/Противопоказания»

Представлена справочная информация о показаниях и противопоказаниях к энтеральному и парентеральному питанию, включая рекомендации ESPEN, а также абсолютные и относительные показания. Блок предназначен для быстрого ознакомления врача с актуальными клиническими критериями.

7) Экран «*Нутритивный статус*»

Включает справочные материалы по оценке нутритивного риска с описанием клинических шкал NRS-2002, NUTRIC, а также подходов к ведению пациентов с низким нутритивным риском. Вкладка содержит структурированные таблицы и рекомендации по интерпретации результатов.

Интерфейс приложения ориентирован на медицинского специалиста: реализована интуитивная навигация, динамический пересчёт данных при изменении параметров и цветовая маркировка ключевых показателей для визуальной оценки соответствия нормам. Все результаты выводятся в прокручиваемых областях с возможностью анализа и интерпретации. Программа полностью автономна, не требует подключения к сети и может использоваться в условиях стационара, отделения интенсивной терапии и амбулаторной практики.

Проведено тестирование разработанного приложения с участием врачей анестезиологов-реаниматологов, использующих методы нутритивной поддержки в клинической практике. Специалисты отметили высокую точность расчётов, удобство интерфейса и понятную структуру представления данных. Алгоритмы приложения продемонстрировали соответствие действующим клиническим рекомендациям и международным протоколам (в том числе ESPEN), а также обеспечили оперативность принятия решений в условиях стационара и отделений интенсивной терапии. Полученные отзывы подтвердили практическую ценность и применимость приложения в повседневной медицинской работе.

Библиографические ссылки

1. *Петриков С. С., Хубуття М. Ш., Попова Т. С.* Парентеральное и энтеральное питание: национальное руководство / под ред. Т. С. Поповой, М. Ш. Хубутти. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2023. 1168 с. (Национальное руководство). ISBN 978-5-9704-7277-4.

2. *Атомаре Д. Ф., Ротелли М. Т., Анкона П.* Нутритивная поддержка при хирургических вмешательствах на желудочно-кишечном тракте / под ред. М.Т. Ротелли. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2022. 184 с. ISBN 978-5-9704-6598-1.

3. *Илюкевич Г. В.* Нутритивный статус и нутритивная поддержка у пациентов отделений интенсивной терапии и реанимации: учеб.-метод. пособие // Минск : БелМАПО, 2022. 65 с. URL: <https://rep.bsmu.by/handle/BSMU/42725>.

4. Kivy Documentation: Programming Guide. URL: <https://kivy.org/doc/stable/> (дата обращения: 18.12.2024).

5. *Тимофеев А. В.* Python и фреймворк Kivy: создание кроссплатформенных приложений. М.: ДМК Пресс, 2022. 288 с.

ПРОГРАММНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ ОСМОТРОВ ЛЕТНОГО ОТРЯДА

Е. В. Бучукова¹⁾, В. А. Иванюкович¹⁾, К. М. Скопец¹⁾, И. А. Тавгень¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Беларусь, iva@iseu.by

Разработано программное обеспечение для сопровождения данных медицинских обследований сотрудников летного отряда, которое позволяет контролировать состояние здоровья пилотов, минимизировать ошибки при ведении медицинской документации и повысить эффективность работы медицинского и авиационного персонала. Проведен анализ целей медицинского обеспечения летного состава, спроектирована структура базы данных, разработана архитектура программного обеспечения, созданы пользовательские интерфейсы и реализована логика обработки данных. Структура приложения позволяет легко расширять функционал в будущем, добавлять новые роли пользователей, процедуры и уведомления, обеспечивая масштабируемость и гибкость системы.

Ключевые слова: медицинские осмотры; летный отряд; уведомления; регистрация; авиационный персонал; базы данных; пользовательский интерфейс; паттерн MVVM; среда разработки Visual Studio.

SOFTWARE SUPPORT FOR MEDICAL EXAMINATIONS OF FLIGHT CREW

E. Buchukova¹⁾, U. Ivaniukovich¹⁾, K. Skopets¹⁾, I. Tavgen¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, Minsk, 220070, Belarus, iva@iseu.by

Software for managing flight crew medical examination data was developed. This software enables pilot health monitoring, minimizes errors in medical documentation, and improves the efficiency of medical and aviation personnel. An analysis of flight crew medical support objectives was conducted; a database structure was designed; software architecture was developed; user interfaces were created; and data processing logic was implemented. The application's structure allows for easy future expansion of functionality, including the addition of new user roles, procedures, and notifications, ensuring the system's scalability and flexibility.

Keywords: medical examinations; flight crew; procedures; notifications; registration; aviation personnel.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-18-21>

Современная авиация предъявляет высокие требования к состоянию здоровья летного состава. Пилоты несут ответственность за жизнь пассажиров, безопасность полетов и сохранность воздушного судна. Любое отклонение в состоянии здоровья пилота может привести к критическим последствиям, включая аварийные ситуации. В связи с этим регулярное медицинское наблюдение и своевременное прохождение медицинских осмотров, процедур и анализов является обязательным элементом профессиональной подготовки летного состава.

В условиях авиационных организаций формируется большой объем информации о медицинском состоянии пилотов: данные об осмотрах, результатах анализов, прохождении процедур, оформленные сертификаты, информация о регистрации пилотов и их допуске к выполнению полетов. Традиционное ведение медицинской документации в бумажной форме или использование разрозненных электронных таблиц существенно затрудняет контроль и анализ

состояния здоровья летного состава. Ручное управление такими данными сопровождается риском ошибок, потерей информации, дублированием записей и низкой оперативностью при принятии решений.

С ростом объема данных, повышением требований к безопасности и необходимости прозрачного контроля возникает актуальная задача автоматизации процессов ведения медицинских данных пилотов. Программное сопровождение позволяет не только централизовано хранить медицинскую информацию, но и обеспечивать доступ к ней уполномоченных сотрудников, автоматически контролировать актуальность медицинских осмотров, формировать уведомления и отчеты, а также снижать вероятность ошибок при обработке данных.

Созданное программное обеспечение предназначено для автоматизации сопровождения медицинских данных летного отряда, которое позволит обеспечить контроль состояния здоровья пилотов, минимизировать ошибки при ведении медицинской документации и повысить эффективность работы медицинского и авиационного персонала.

Для разработки системы программного сопровождения медицинских данных летного отряда были выбраны современные технологии, обеспечивающие высокую производительность, надежность и удобство сопровождения. Основным языком разработки является C#, который обеспечивает тесную интеграцию с платформой Windows, поддержку объектно-ориентированного программирования и широкий набор библиотек для работы с данными и пользовательскими интерфейсами [1]. В качестве среды разработки используется Visual Studio, предоставляющая инструменты для написания кода, отладки, тестирования и проектирования интерфейсов, а также поддержку систем контроля версий [2]. Архитектура системы реализована на основе паттерна MVVM (Model–View–ViewModel), обеспечивающего разделение логики приложения и пользовательского интерфейса, что упрощает дальнейшее сопровождение и расширение функциональности [3].

В среде SQL Server Management Studio 22 системы управления базами данных Microsoft SQL Server Express была создана база данных, предназначенная для централизованного хранения информации о пользователях, самолетах, медицинских осмотрах, процедурах, лекарственных средствах, аптечках, регистрациях и уведомлениях. Центральной таблицей является Users, содержащая основные сведения о пользователях и связанная с таблицей Airplanes, что позволяет определить принадлежность члена экипажа к конкретному воздушному судну. Регистрация пользователей на рейсы реализована с помощью таблицы RegistrationUsers, где фиксируются дата и статус регистрации. Данные о медицинских осмотрах и их результатах хранятся в таблице MedicalExaminations, а информация о сроках действия медицинских сертификатов – в таблице Certificates, что позволяет контролировать допуск к полетам. Перечень медицинских процедур хранится в таблице Procedures, а их выполнение пользователями – в UserProcedures, при этом доступность процедур в зависимости от роли определяется таблицей UserRoleProcedures. Учет медикаментов осуществляется через таблицы Medicins и HistoryUpMedicins, содержащие сведения о лекарствах, их количестве и сроках годности. Аптечки, привязанные к самолетам, хранятся в таблице Medkits, а их состав определяется связующей таблицей MedicinMedkit. Для формирования аналитической информации используются таблицы ReportUsers и ReportMedicins, позволяющие получать статистические данные, а таблица Notifications обеспечивает хранение уведомлений и информирование пользователей о важных медицинских событиях.

В программе обеспечена поддержка уведомлений и контроль статуса прохождения процедур и регистраций, что повышает уровень информированности сотрудников и безопасность процессов авиакомпания. Реализован функционал управления данными администратора, включая добавление пользователей, назначение ролей, управление процедурами и медицинскими осмотрами.

Особое внимание уделялось удобству интерфейса и логике навигации между компонентами приложения.

В программе для пилота предусмотрено несколько разделов, обеспечивающих контроль его медицинского состояния и регистрации на рейсы.

1. Раздел «Главное меню» отображает основную информацию о пилоте, его привязку к самолету, дату регистрации и текущий статус. При необходимости пилот может выполнить регистрацию непосредственно с главного экрана.

2. Раздел «Информация» отвечает за отображение всех назначенных медицинских проверок и процедур, а также их текущего статуса. После прохождения всех процедур система автоматически отмечает медосмотр как заверченный и отображает активность сертификата.

3. Раздел «Регистрация на самолет» позволяет пилоту выбрать доступный рейс и подтвердить участие в полете.

4. Раздел «Процедуры» предназначен для отслеживания выполнения медицинских действий, где пилот видит заверченные и предстоящие процедуры.

5. Раздел «Уведомления» информирует о важных событиях и сроках, напоминая о необходимости прохождения медосмотров и других обязательных действий.

Панель бортпроводника по структуре во многом аналогична панели пилота, однако имеет дополнительные функции.

Особенностью является раздел «Лекарства», который предназначен для контроля содержания бортовых аптечек: просмотр их состава, добавление медикаментов и контроль срока годности лекарств.

Для врача предусмотрены следующие разделы:

1. Раздел «Главное меню» отображает информацию о пользователе-враче и общую статистику по сертификатам, медосмотрам, процедурам, лекарствам и пользователям, позволяя быстро оценить текущее состояние медицинского контроля экипажа.

2. Раздел «Информация» отвечает за просмотр справочных данных: историю пополнения лекарств, а также сведения о пройденных и не пройденных медосмотрах пилотов и бортпроводников.

3. Раздел «Медосмотры» предназначен для контроля прохождения медицинских осмотров персоналом.

4. Раздел «Сертификаты» позволяет отслеживать актуальность и срок действия сертификатов сотрудников.

5. Раздел «Процедуры» отвечает за ведение перечня медицинских процедур и их назначение конкретным пользователям.

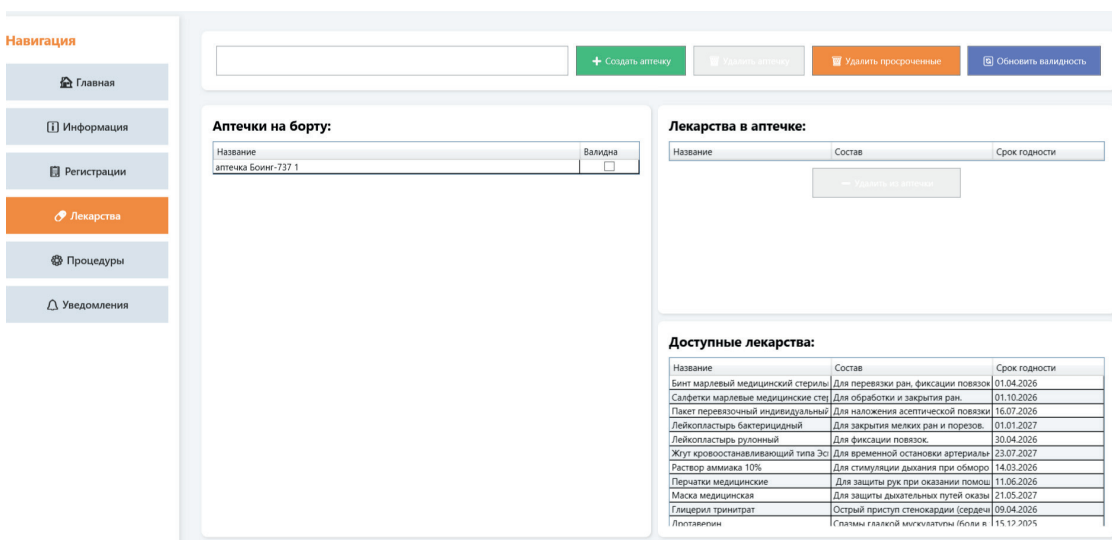
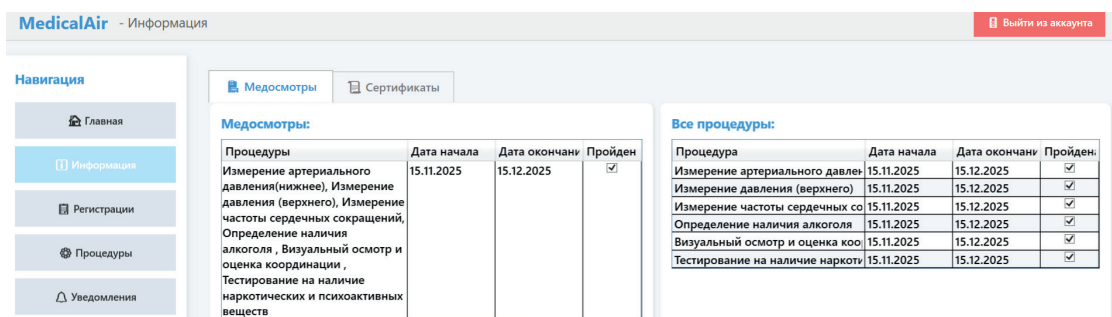
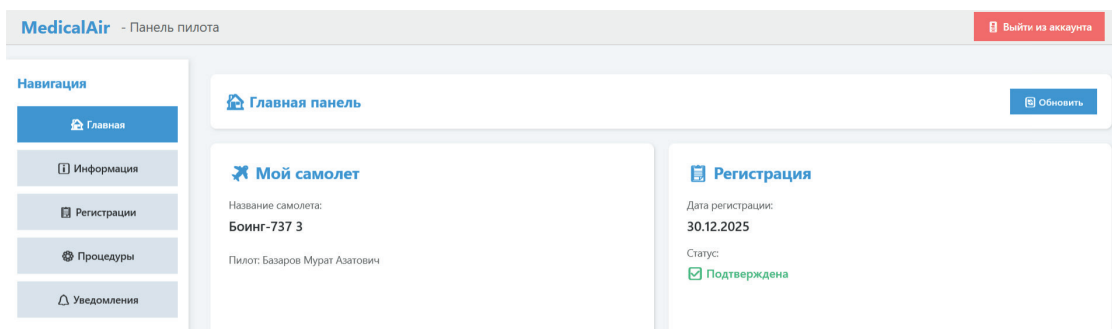
6. Раздел «Лекарства» предназначен для учета медикаментов, контроля сроков годности и истории их пополнения в аптечках.

7. Раздел «Отчеты» используется для анализа данных о лекарствах, включая наличие препаратов и выявление просроченных позиций.

8. Раздел «Уведомления» позволяет врачу отправлять персоналу напоминания о необходимости прохождения медосмотров, выполнения процедур и продления сертификатов.

Интерфейсы программного приложения MedicalAir подгружаются в зависимости от зарегистрированного пользователя (рисунки).

В результате тестирования системы было подтверждено, что созданное приложение MedicalAir обеспечивает корректное отображение и обработку данных для всех ролей, правильно учитывает права пользователей и обеспечивает целостность данных. Программный комплекс является надежным инструментом для автоматизации работы с медицинскими данными летного отряда, повышает эффективность управления процедурами и снижает риск ошибок, связанных с человеческим фактором.



Пользовательские интерфейсы программного сопровождения медицинских данных летного отряда

Таким образом, разработанный проект полностью соответствует поставленным целям и задачам, демонстрируя возможность внедрения программного сопровождения медицинских данных в авиакомпанию. Реализованная структура приложения позволяет легко расширять функционал в будущем, добавлять новые роли пользователей, процедуры и уведомления, обеспечивая масштабируемость и гибкость системы.

Библиографические ссылки

1. Платформа .NET и язык C#. URL: <https://metanit.com/sharp/tutorial/1.1.php>. (дата обращения: 29.11.2025).
2. Visual Studio. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/products/visual-studio>. (дата обращения: 29.11.2025).
3. MVVM в WPF-приложениях. URL: C# и WPF | Паттерн MVVM. (дата обращения: 25.11.2025).

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПОЙМЕННЫХ ПОЧВ

С. Е. Головатый¹⁾, С. В. Савченко²⁾, В. В. Зеленуха¹⁾, М. Ф. Кузьменкова¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, sscience@yandex.ru

²⁾ Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь, svscience@rambler.ru

При эколого-геохимическом исследовании пойменных почв применяются следующие методические подходы: в качестве приоритетных загрязнителей изучаются валовые и подвижные формы тяжелых металлов; учитывается местоположение речного бассейна и ландшафтные условия формирования химического состава почв; оцениваются латеральные и фациальные различия в накоплении металлов в почвах; определяется гранулометрический состав, pH и содержание органического вещества в почвах; в зависимости от целей и задач исследований устанавливаются критерии эколого-геохимической оценки почв. Установлено, что каждая речная система характеризуется природной спецификой содержания тяжелых металлов в пойменных почвах, на которую накладывается техногенное воздействие со стороны города. Максимальная степень техногенной трансформации почв характерна для участков пойм, расположенных в центре или в конце города. Различия в накоплении тяжелых металлов почвами зависят от фациальной принадлежности почв.

Ключевые слова: эколого-геохимические исследования; научно-методические подходы; тяжелые металлы; валовое содержание; подвижные формы; пойменные почвы; городские территории; латеральное распределение; фациальные различия; техногенная нагрузка.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO ECOLOGICAL- GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF FLOODPLAIN SOILS

S. E. Golovaty¹⁾, S. V. Savchenko²⁾, U. V. Zelianukha¹⁾, M. F. Kuzmenkova¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, sscience@yandex.ru

²⁾ State Scientific Institution «Institute of Nature Management of the National Academy Sciences of Belarus», Skoryny str., 10, 220076, Minsk, Belarus, svscience@rambler.ru

The following methodological approaches are used in the ecological and geochemical study of floodplain soils: gross and mobile forms of heavy metals are studied as priority pollutants; the location of the river basin and the landscape conditions governing the formation of the soil chemical composition are taken into account; lateral and facies differences in the accumulation of metals in soils are evaluated; granulometric composition, pH and organic matter content are determined. Depending on the goals and objectives of the research, criteria for the ecological and geochemical assessment of soils are established. It was found that each river system is characterized by the natural specificity of the heavy metal content in floodplain soils, which are subjected to technogenic influence from the city. The maximum degree of technogenic transformation of soils is typical for floodplain areas located in the center or at the downstream end of the city. Differences in the accumulation of heavy metals in soils depend on the facial affiliation of the soils.

Keywords: ecological-geochemical studies; scientific and methodological approaches; heavy metals; gross content; mobile forms; floodplain soils; urban areas; lateral distribution; facies differences; technogenic load.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-22-28>

Введение. В настоящее время с учетом постоянно нарастающего техногенного воздействия на природную среду одним из направлений эколого-химических исследований является оценка накопления и поведение в почвах тяжелых металлов, которые принадлежат к одним из основных загрязнителей окружающей среды, особенно в пределах населенных пунктов, где присутствует значительное количество разноплановых источников загрязнения. Несмотря на многочисленные эколого-геохимические исследования различных по функциональному назначению территорий, в том числе в городах, поймы по сравнению с другими ландшафтами наименее изучены, за исключением поймы р. Припяти, детально исследованной в связи с ее активным использованием в сельскохозяйственном производстве [2; 4].

В тоже время состояние пойменных территорий представляет определенный интерес, так как они выступают в качестве естественных коридоров миграции и местообитания для многих видов растений и животных, выполняют роль главного элемента экологического каркаса города, вокруг которого формируются значительные по площади ландшафтно-рекреационные территории, являются составной части рекреационного потенциала рек в связи с развитием водного туризма и пляжного отдыха на водных объектах, а также активно используются в сельскохозяйственном производстве в качестве сенокосов и пастбищ.

Методика исследований. При изучении почв пойм целесообразно использовать методические подходы, учитывающие специфику пойменных ландшафтов, проявляющуюся в их азональности, линейной конфигурации и в ряде случаев сложности выявления приоритетного источника загрязнения:

- определяются приоритетные для исследования тяжелые металлы (биофильные и небиофильные) – кадмий, свинец, цинк, хром, медь, кобальт, никель;
- исследуются валовые и подвижные формы тяжелых металлов, что позволяет повысить результативность эколого-геохимической индикации состояния почв;
- учитывается местоположение речного бассейна и ландшафтные условия формирования химического состава почв;
- оцениваются латеральные различия в накоплении металлов в почвах вдоль по течению реки;
- применяется фациальный подход, в основе которого лежит геохимическая специфика фациального перераспределения элементов при загрязнении (приустьевая, центральная, притеррасная пойма);
- определяются гранулометрический состав, рН и содержание органического вещества в почвах, влияющие на поведение тяжелых металлов в почвенном покрове;

в зависимости от целей и задач исследований определяются критерии эколого-геохимической оценки состояния почв. *Объект и предмет исследований.* Почвы пойм и долин рек в зонах влияния населенных пунктов изучались в период с 1996 по 2020 гг. Обследованные реки приурочены к различным физико-географическим провинциям. Всего исследованы участки пойм 15 рек, протекающие по городским территориям с различной спецификой техногенных нагрузок на поймы.

Отбор проб производился из верхнего гумусового горизонта почв методом продольного и поперечного профилирования. Содержание тяжелых металлов в почвах определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии (для валового содержания – экстрагированием смесью кислот (HF, HNO₃, HCl, HClO₄) или эмиссионным спектральным методом, для подвижных форм – 1 М раствором HCl или ацетатно-аммонийным буфером). Чувствительность определения для разных элементов составляет от 0,01 до n×1,0 мг/кг.

Обсуждение результатов. Особенность формирования химического состава почв в поймах рек является совместное воздействие на них пойменных и аллювиальных процессов. При этом количество источников загрязнения пойменных почв шире, чем для других территорий, особенно в пределах городской застройки, так как кроме паводковых вод, по-

ступающих на пойму при разливе водотока, к источникам загрязнения пойменных почв относятся трансграничные и местные аэральные выпадения, поверхностный сток с выше лежащих территорий, а также точечные источники загрязнения, расположенные в пойме и долине реки.

Проведенными эколого-геохимическими исследованиями установлено, что каждая речная система характеризуется природной спецификой содержания тяжелых металлов в пойменных почвах, на которую накладывается определенное техногенное воздействие со стороны города (табл. 1).

Таблица 1

Валовое содержание отдельных тяжелых металлов в верхнем горизонте почв пойм рек в зонах воздействия населенных пунктов

Река, населенный пункт	Среднее содержание тяжелых металлов, мг/кг						
	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
Уша (Молодечно)	н.о.	7,5	н.о.	8,8	4,8	8,6	3,0
Случь (Слуцк)	н.о.	14,0	н.о.	13,0	9,7	24,0	5,1
Березина (Борисов)	н.о.	13,0	н.о.	13,0	11,0	20,0	4,9
Березина (Березино)	н.о.	9,1	н.о.	5,1	6,2	15,6	3,6
Бобр (Крупки)	н.о.	10,0	н.о.	8,0	9,6	15,0	5,3
Плисса (Смолевичи)	н.о.	12,0	н.о.	12,0	15,0	19,0	5,6
Плисса (Жодино)	н.о.	12,0	н.о.	12,0	11,0	18,0	5,9
Вилия (Вилейка)	н.о.	11,0	н.о.	5,9	5,6	14,2	4,2
Неман (Столбцы)	н.о.	9,1	н.о.	5,7	5,9	9,1	4,9
Лучеса (Витебск)	0,52	7,9	14,0	4,0	3,6	8,1	1,8
Витьба (Витебск)	0,47	6,9	11,9	5,1	3,9	6,9	1,3
Днепр (Орша)	1,0	9,6	48,7	15,8	12,4	117,0	3,4
Сож (Гомель)	0,5	8,1	21,3	4,9	7,8	59,9	1,5
Свислочь (Минск) (2007)	0,45	21,9	45,5	14,5	8,4	5,2	5,3
Свислочь (Минск) (2019)	0,33	12,1	37,5	8,2	2,8	н.о.	н.о.
Тростянка (Минск)	0,70	14,7	37,7	8,4	7,7	4,8	4,4
Лошица (Минск)	0,42	23,0	65,0	21,8	17,3	25,1	5,5
Мышка (Минск)	0,50	21,2	50,5	11,0	16,0	14,9	5,7

Примечание. н.о. – элемент не определялся.

Наименьшим средним валовым содержанием большинства элементов (свинца, цинка, меди, никеля, кобальта) характеризуются почвы пойм рек Витьбы и Лучесы в границах г. Витебска, хрома и кадмия – рек, протекающих по территории г. Минск – Тростянки и Лошицы. Наибольшие значения свинца, меди и никеля зафиксированы в почвах пойменных участков р. Лошица, кадмия и хрома – почвах поймы р. Днепр, цинка – р. Березины в г. Березино, кобальта – р. Плиссы в г. Жодино. Различия в накоплении элементов почвами пойм исследованных речных систем достигают от 2,3 раз для кадмия до 24,4 раз – для хрома. Накопление элементов в почвах в большинстве случаев не превышает нормативы, установленные для почв, за исключением кадмия в пойменных почвах рек Лучесы, Днепра и Тростянки, и хрома – в почвах поймы р. Днепр.

Латеральные различия в накоплении химических элементов в пойменных почвах вдоль по течению рек особенно четко проявляются на территории города. В пределах непосредственно городской территории наибольшая степень техногенной трансформации почв характерна для участков пойм, расположенных в центральной части или в конце города, где присутствует значительное количество промышленных предприятий, жилой усадебной застройки, автомобильных и железных дорог, автостоянок.

Исследование латерального распределения тяжелых металлов в почвах поймы р. Свислочи в границах г. Минска (2007 г.) показало, что максимальное накопление большинства исследованных элементов характерно для участков поймы в центре города, где содержание свинца превышает его концентрацию на выше- и нижележащих участках в 1,8-2,2 раза, цинка – 1,3-2,3, меди и никеля соответственно 2,8 и 2,0 раза (по сравнению с вышележащей территорией). Последние характеризуются повышенными концентрациями также на нижнем исследованном участке в границе города. Содержание кадмия в почвах поймы вниз по течению реки снижается, и в конце города его значение в 1,7 раза ниже по сравнению с верхним исследованным участком [8].

По данным 2019 г., в почвах поймы р. Свислочи в центральной части г. Минска концентрации тяжелых металлов (за исключением цинка) по сравнению с вышележащими территориями также увеличиваются. Различия в содержании элементов по сравнению с перспективными для развития города территориями составляют от 1,3 раза для свинца до 3,1 раз для меди. Ниже по течению наблюдается увеличение по сравнению с центральной частью города концентраций свинца и никеля, что свидетельствует о техногенном характере загрязнения пойменных территорий [9].

Использование фациального подхода и учет геоморфологических особенностей долины реки при исследовании пойменных почв большинства рек Беларуси показало, что существующие различия в накоплении тяжелых металлов в определенной степени зависят от гипсометрической приуроченности почв.

Оценка эколого-геохимического состояния почв по линии поперечных профилей, заложенных в долине р. Свислочи на территории г. Минска, показала, что на одном из профилей наименьшими концентрациями всех исследованных металлов характеризуются почвы центральной поймы, где содержание кадмия и меди в 1,3 раза ниже, чем на участках с наибольшей концентрацией, цинка – в 2,7, свинца – в 4,1 раза. Во втором профиле наименьшими значениями большинства исследованных металлов характеризуются почвы первой надпойменной террасы, наибольшими – почвы притеррасной поймы, где по сравнению с почвами первой надпойменной террасы содержание кадмия выше в 1,4 раза, никеля – в 1,8, меди – в 1,9, цинка – в 2,4, свинца – в 2,7 раза [9].

Оценка фациального распределения тяжелых металлов в почвах поймы р. Днепр в пределах г. Орши выявила наименьшие концентрации большинства металлов в центральной пойме, где среднее валовое содержание меди ниже по сравнению с другими фациями в 1,8-10,7 раза, никеля – в 1,1-2,5, цинка – 1,3-1,4, хрома – в 1,2-1,4, свинца – 1,6 и кобальта в 1,2 раза. В прирусловой пойме по сравнению с центральной идет накопление меди, цинка, кадмия и хрома, что обусловлено ее гипсометрически пониженным местоположением и наличием нескольких источников загрязнения [6].

Исследование подвижных форм тяжелых металлов в пойменных почвах позволило сделать вывод о том, что они являются лучшим индикатором загрязнения пойменных почв по сравнению с их валовым содержанием. Так, по данным [5], при загрязнении почв поймы р. Свислочи ниже Минска накопление поллютантов более контрастное для подвижных форм элементов по сравнению с их валовым содержанием. Превышение над гигиеническими нормативами в почвах наиболее загрязненных участков составляют для валового свинца 1,6 раза, для его подвижной формы 6,2 раза. Для никеля данные показатели равны 7,0 и 29,0 раза, меди – 13,1 и 97,7 раза, цинка – 13,6 и 21,3 раза соответственно.

Загрязнение почв приводит не только к повышению фактического содержания подвижных форм тяжелых металлов, но и к увеличению доли подвижных форм от валовых концентраций. В почвах р. Днепр в г. Орше подвижность элементов составляет в среднем для меди и цинка – 89-90% от валовых содержаний, свинца и кадмия – 64-66, кобальта – 60-61 % [6]. В почвах поймы р. Витьбы в г. Витебске, отобранных в центре города, подвижность меди достигает 71 % от валовых значений, цинка – 69, никеля – 51 % [7].

Установлено также, что одними из основных свойств почв, оказывающих влияние на накопление в них тяжелых металлов, является их гранулометрический состав. Почвы более тяжелого гранулометрического состава (суглинки) способны накапливать в 1,5-5,0 раз больше тяжелых металлов по сравнению с почвами более легкими (пески, супеси). Эта закономерность четко прослеживалась при исследовании почв пойм водотоков г. Витебска. В пойменных почвах ручья Гопеева (приток р. Витьбы) с суглинистыми почвами отмечаются повышенные, по сравнению с песчаными почвами пойм рек Витьбы и Лучесы, концентрации всех изученных металлов: меди – в 4,7-6,0 раз, цинка – 3,1-3,7, хрома – 2,5-2,9, кобальта – 2,1-2,9, свинца – 2,1-2,4, никеля – 2,3-2,4, кадмия – в 1,6-1,7 раза (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в пойменных почвах различного гранулометрического состава (поймы рек Лучеса и Витьба (ручей Гопеева) в г. Витебске

Место отбора проб почв	Гранулометрический состав почвы	Валовое содержание тяжелых металлов, мг/кг						
		Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Ni	Cr
Пойма р. Лучеса	Песок	4,0	14,0	7,9	0,52	1,8	3,6	8,1
Пойма р. Витьба	Песок	5,1	11,9	6,9	0,47	1,3	3,9	6,9
Пойма ручей Гопеева (приток р. Витьбы)	Суглинок	24,1	44,0	16,9	0,82	3,8	8,8	19,9

Источник: [7].

Оценка показателя рН в пойменных почвах выявила определенную зависимость между кислотностью почвенного раствора и способностью почв аккумулировать тяжелые металлы. Четкой зависимости между концентрацией тяжелых металлов и содержанием Сорг в исследованных почвах не наблюдалось.

Критерии оценки загрязнения пойменных почв. При исследовании пойм встает вопрос о критериях оценки их эколого-геохимического состояния и степени загрязнения, так как в зависимости от функционального назначения и направления использования пойменных территорий к эколого-геохимическому состоянию почвенного покрова предъявляются различные требования.

Так, при использовании пойм в качестве ключевых участков для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия целесообразно проводить сравнение фактических значений с фоновым содержанием тяжелых металлов, так как данные территории по эколого-геохимическим параметрам должны приближаться к наименее трансформированным ландшафтам. Для оценки ландшафтно-рекреационных территорий, расположенных в пределах пойменных участков, используется местный геохимический фон, а при высоких уровнях содержания тяжелых металлов – гигиенические или дифференцированные нормативы, выбор которых зависит от целей и задач исследований [1; 9]. При оценке пойм как территорий сельскохозяйственного назначения критерием оценки могут быть ОДК для валовых и подвижных форм элементов, разработанные специально для почв сельскохозяйственных угодий [3].

Таким образом, несмотря на многочисленные эколого-геохимические исследования почв различных территорий, поймы по сравнению с другими ландшафтами наименее изучены в силу специфики их изучения, так как кроме паводковых вод, поступающих на пойму при разливе водотока, к источникам загрязнения пойменных почв относятся также трансграничные и местные аэральные выпадения, поверхностный сток с вышележащих территорий и точечные источники, расположенные в пойме и долине реки. При исследовании пойменных почв применяются следующие методические подходы: в качестве приоритетных загрязнителей изучаются валовые и подвижные формы тяжелых металлов;

учитывается местоположение речного бассейна и ландшафтные условия формирования химического состава почв; оцениваются латеральные различия в накоплении металлов в почвах вдоль по течению реки и специфика перераспределения элементов в почвах пойменных фаций; учитывается гранулометрический состав, рН и содержание органического вещества в почвах; критерии эколого-геохимической оценки состояния почв определяются целями и задачами исследований. Проведенные эколого-геохимические исследования по оценке особенностей накопления и поведения тяжелых металлов в почвах пойм в условиях различной техногенной нагрузки показали, что каждая речная система обладает индивидуальным набором металлов, накапливающихся в почвах. В пределах городской территории максимальная степень трансформации почв характерна для участков пойм, расположенных в центре и ниже города, а также на участках в зоне действия локальных источников загрязнения. Фациальные различия в накоплении металлов индивидуальны для каждой реки и обусловлены строением долины, гипсометрическими особенностями поймы и наличием источников загрязнения в пойме и долине реки. Подвижные формы тяжелых металлов являются лучшим индикатором загрязнения пойменных почв по сравнению с их валовым содержанием, при этом загрязнение почв приводит не только к повышению фактического содержания подвижных форм тяжелых металлов, но и к увеличению доли подвижных форм от валовых концентраций.

Одними из основных свойств почв, оказывающих влияние на накопление в них тяжелых металлов, является их гранулометрический состав. Оценка показателя рН выявила определенную зависимость между кислотностью почвенного раствора и способностью почв аккумулировать тяжелые металлы. Четкой зависимости между концентрацией металлов и содержанием органического углерода в исследованных почвах не наблюдается.

Учитывая, что пойменные ландшафты являются нижним звеном ландшафтно-геохимического ряда, аккумулирующим загрязнители с водораздельных городских территорий, следует ожидать дальнейшего поступления и накопления тяжелых металлов в почвы пойменных ландшафтов. В связи с тем, что на территории города поймы рек выполняют преимущественно рекреационные и водозащитные функции, для почв данных территорий необходима разработка комплекса мероприятий по минимизации негативных последствий их загрязнения и организации систематических наблюдений за состоянием почвенного покрова данных территорий.

Библиографические ссылки

1. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы». Утверждено Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37.
2. Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические E24 риски : материалы Международного семинара, г.Пинск, 19-21 июня 2007 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: И. И. Лиштван [и др.]. – Минск : Минсктиппроект, 2007. 368 с.
3. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.], Нац. акад. наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. Минск Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. 45 с.
4. Прыроднае асяроддзе Палесся : асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. П 85 прац. УП т. Т. I / рэдкал.: М. В. Міхальчук (адк. рэд.) [і інш.]. Брэст: Акадэмія, 2006. 294 с.
5. Специфика загрязнения пойм рек тяжелыми металлами: фациальная зональность (на примере р. Свислочь ниже Минска) / С.В. Савченко [и др.] // Природные ресурсы, 1998. №2. С. 26–33.
6. Савченко С. В., Головатый С. Е., Лукашенко Н. К. Пространственная структура и уровни загрязнения тяжелыми металлами почв долины р. Днепр в г. Орше // Природные ресурсы. 2004. №. 4. С. 93–96.

7. Тяжелые металлы в почвах пойменных экосистем малых водотоков г. Витебска / С. В. Савченко [и др.] // Природные ресурсы. 2005. №. 3. С. 132–136.
8. Пространственные особенности накопления тяжелых металлов в почвах пойменных ландшафтов г. Минска / С. В. Савченко [и др.] // Природные ресурсы. 2007. №.4. С. 63–70.
9. Савченко С. В., Санец Е. В., Рыжиков В. А. Оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска // Природные ресурсы. Минск, 2020. №2. С. 5–17.
10. ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах.

МИЦЕЛИЕВЫЕ УПАКОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПОЛИМЕРНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Я. В. Давидовский¹⁾, Е. С. Лён¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, missiselenas25@yandex.by

В настоящее время пластиковое загрязнение является многоуровневой проблемой, затрагивающей как наземные экосистемы, так и мировой океан. Производство упаковочной тары с использованием традиционных полимерных материалов продолжает усугублять эту проблему. Альтернативным материалам при изготовлении упаковки являются материалы, производимые из мицелия грибов. Основные достоинства мицелиевых материалов – низкий углеродный след, высокая биоразлагаемость в окружающей среде. Анализ особенностей производства мицелиевых материалов в Республике Беларусь выявил возможность применения для их изготовления грибов Вёшенка (*Pleurotus*), Ганодерма (*Ganoderma*).

Ключевые слова: производство пластмасс; упаковочная тара; мицелий; загрязнение микропластиком; биоразлагаемость.

MYCELIUM-BASED PACKAGING MATERIALS AS AN ALTERNATIVE TO POLYMERIC MATERIALS

Y. V. Davidovsky¹⁾, E. S. Len¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, missiselenas25@yandex.by

Currently, plastic pollution is a multifaceted issue affecting both terrestrial ecosystems and the world's oceans. The production of packaging using traditional polymer materials continues to exacerbate this problem. Fungal mycelium offers an alternative material for packaging production. The main advantages of mycelium-based materials are their low carbon footprint and high biodegradability. An analysis of the production characteristics of mycelium-based materials in the Republic of Belarus revealed the potential of using mycelium from the genera *Pleurotus* and *Ganoderma* for their manufacture.

Keywords: plastic production; packaging; mycelium; microplastic pollution; biodegradability.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-29-33>

Объемы мирового использования одноразовой упаковочной тары с каждым годом увеличиваются. При этом доминирующая часть от этого количества упаковочной тары изготовлена из полимерных материалов. Совокупное производство пластмасс за весь период их применения, уже достигло уровня, выражающегося в миллиардах тонн, и, следовательно, потенциальный объем поступившего в окружающую среду пластика также исчисляется многими миллиардами объемами. При изготовлении пластмассовой упаковочной тары чаще всего применяются полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полиэтилен низкой плотности (ПЭВД) и линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП), полипропилен (ПП), полистирол (ПС), поливинилхлорид (ПВХ). Каждый из этих видов пластмасс находит применение в разных отраслях экономики.

Количественный состав образующихся ежегодно отходов пластиковой тары по видам пластмасс, следующий, млн. т/год, %:

- 1) ПЭТ – 43,2 (12 %);
- 2) ПЭВП – 64,8 (18 %);
- 3) ПЭВД и ЛПЭНП – 72,0 (20 %);
- 4) ПП – 75,6 (21 %);
- 5) ПС – 21,6 (6 %);
- 6) ПВХ – 14,4 (4 %);
- 7) Другие виды – 68,4 (19 %).

Среди образующихся отходов отходы ПП, ПЭВД и ЛПЭНП занимают лидирующие позиции, составляя в сумме более 40 %. Упаковочные полимеры могут оставаться в экосистемах десятилетиями, а некоторые даже столетиями. За это время они распадаются на всё более мелкие части – микро- и наночастицы – которые перемещаются с ветром, стоками и течениями и накапливаются в почвах, реках, водах мирового океана. Кроме механических эффектов, упаковка содержит множество вспомогательных веществ способных мигрировать в окружающей среде и, поступая в организмы, вызывать эндокринные сдвиги, нейротоксические эффекты и другие негативные отклонения.

Шкала риска: по химической токсичности продуктов распада порядок, следующий: поливинилхлорид самый опасный, далее полистирол и ПЭТ, полипропилен и полиэтилен по токсичности продуктов распада примерно равны между собой.

Различие по типу экологической угрозы: полиэтилен и полипропилен создают наибольшую долговременную физическую проблему – их фрагменты сохраняются как микро- и наночастицы, легко перемещаются и становятся биодоступными; поливинилхлорид и полистирол при деградации или неправильной термической утилизации генерируют более токсичные низкомолекулярные соединения.

Основные этапы производства полипропилена, являющегося наиболее многотоннажным продуктом среди других полимерных материалов, представлены следующими стадиями:

- приём и подготовка сырья (прием пропилена, адсорбционная/ректификационная очистка от сероводорода, ацетиленовых и кислородсодержащих примесей, осушка);
- компрессия, подача на магистрали (компрессия, подача газа на магистрали и подачи газа в реактор);
- каталитическая полимеризация (полимеризация в газовой фазе (или суспензии) с катализаторами; контроль температуры, удаления тепла и поддержание заданного молекулярно-массового распределения);
- сепарация и рекуперация непрореагировавших мономеров (сепараторы, компрессоры и ректификаторы возвращают мономер в цикл; очистка хвостовых газов);
- дегазация, стабилизация и гранулирование (удаление растворенных мономеров (вакуум/пар), введение антиоксидантов и других добавок, экструзия/гранулирование, сушка).

На каждом из этапов производства выделяются различные загрязняющие вещества.

Сырьё – технический пропилен (производится на нефтехимических заводах из пропана/нафты или в процессе крекинга) – проходит очистку, осушку и подается в реактор. В реакторе при контролируемой температуре и давлении идёт полимеризация; затем полимер отделяют от газовой фазы, возвращают непрореагировавший мономер в цикл, проводят дегазацию, добавляют стабилизаторы и гранулируют готовый полипропилен.

В табл. 1 приведены данные по загрязняющим веществам в составе выбросов и в составе сточных вод, т на 100 т произведенного материала.

**Загрязняющие вещества в составе выбросов и в составе сточных вод,
т на 100 т произведенного материала**

Выбросы в атмосферный воздух, т / 100 т произведенного материала							
Наименование загрязняющего вещества	Наименование произведенного материала						
	ПЭТ	ПЭВП	ПЭВД	ЛПЭНП	ПП	ПС	ПВХ
Альтернативные ЛОС/ летучие деградационные продукты	–	–	–	–	0,05-0,5	–	–
Хлорорганические соединения	–	–	–	–	–	–	0,1-1,0
Низкомолекулярные углеводороды / олефины	–	–	0,2-1,5	0,15-1,2	0,1-1,5	–	–
Бензол/этилбензол	–	–	–	–	–	0,01-0,3	0,01-0,2
Твердые частицы	0,1-2,0	0,001-0,05	0,05-0,8	0,05-0,7	0,05-1,0	0,05-1,0	0,05-1,0
Этиленгликоль	0,5-3,0	–	–	–	–	–	–
Винилхлорид	–	–	–	–	–	–	0,2-3,5
Пропилен	–	–	–	–	0,2-3,0	–	–
Метанол	0-4,0	–	–	–	–	–	–
Этилен	–	–	0,2-4,0	0,15-2,5	–	–	–
Стирол	–	–	–	–	–	0,5-4,0	–
CO ₂	250-350	200-400	160-320	140-300	180-320	180-360	150-350
SO _x	0,1-2,0	0,1-1,5	0,05-1,2	0,04-1,0	0,05-1,5	0,05-1,5	0,05-1,5
NO _x	0,6-3,0	0,6-3,0	0,4-2,5	0,3-2,0	0,4-2,5	0,4-3,0	0,4-3,0
ЛОС (сумма)	–	0,005-0,03	0,8-10,0	0,6-6,0	0,8-6,0	1,0-8,0	1,0-8,0
Сбросы в сточные воды, т / 100 т произведенного материала							
Каталитические остатки / металлы	–	–	–	–	0,0001- 0,005	–	–
Масляные/эмульсионные отходы	–	–	0,1-1,5	0,1-1,2	0,1-2,0	–	–
Адсорбционные/ химические отходы	–	–	–	–	–	0,05-1,0	0,05-1,0
Органические вещества	0,05-0,5	0,01-0,5	0,01-0,5	0,08-0,6	0,05-0,6	0,1-0,8	0,1-1,0
Олово	0,0001-0,001	–	–	–	–	–	–
Сурьма	0,00005-0,0005	–	–	–	–	–	–

Из данных, приведенных в таблице 1 следует, что при производстве всех представленных полимерных материалов выделяются SO_x, NO_x, CO₂, твердые частицы, а также ЛОС (кроме ПЭТ).

Альтернативным материалом, оказывающим минимальное воздействие на окружающую среду, является материал на основе мицелля.

Идея использовать мицелий как инструмент для создания совершенно нового ряда материалов, принадлежит американцам Эбену Байеру (Eben Bayer) и Гэвину Мак-Энтайра (Gavin McIntyre). Они были первыми кто выдвинул гипотезу о том, что мицелий некоторых видов грибов можно использовать в массовом земледелии как самоорганизующийся, устойчивый материал, и доказали это на практике.

В экспериментах был использован мицелий гриба Вешенка (*Pleurotus*), изображённого на рисунке.



Гриб Вешенка (*Pleurotus*) и его мицелий, взятый для проведения экспериментов

Средние объемы выбросов загрязняющих веществ при изготовлении мицелиевых материалов на 100 тонн продукта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средние объемы загрязняющих веществ в составе выбросов, на 100 т произведенного продукта на основе мицелия

Выбросы в атмосферный воздух	
Наименование загрязняющего вещества	Средние объемы загрязняющих веществ, на 100 т продукта
СО ₂ (антропогенный)	10-150 т
СО ₂ (биогенный)	5-30 т
Твердые частицы	0,1-1000 кг
ЛОС	5-300 кг

При производстве материалов на основе мицелия не выделяются SO_x, NO_x, что выгодно отличает их от традиционных полимерных материалов.

Технологический процесс производства мицелиевого материала «Mycocomposite» включает следующие стадии:

Подготовка сырьевой базы – заготовка лигноцеллюлозных материалов (солома, опилки, кукурузная щепка, конопляная масса), измельчение и просеивание, корректировка влажности и питательности смеси.

Обеззараживание субстрата – автоклавирование паром под давлением при асептическом производстве либо пастеризация.

Получение посевного мицелия и внесение в субстрат – готовят зерновой или жидкий посев в стерильной среде, в нужной дозировке вводят его в охлажденный субстрат и формуют в блоки или пресс-формы.

Фаза роста мицелия – блоки выдерживают в контролируемых микроклиматических условиях при температуре от 20 °С до 30 °С.

Первичная сушка – после заполнения мицелием необходимой формы, его высушивают. Сушка длится несколько дней при соблюдении микроклиматических условий.

Окончательная обработка и вторичная сушка – изделия обрабатывают при температуре 40 °С.

Окончательные операции – проводят механическую отделку, контроль качества; образцы, не прошедшие контроль качества, направляют на компостирование, повторную переработку или утилизацию.

В табл. 3 представлены технические характеристики готового изделия в соответствии со стандартами качества США.

Данные физических характеристик материала «MusoComposite»

Параметр	Единицы измерения	Значение	Стандарт определения
Плотность	кг/м ³	121,7±6,4	ASTM C303
Прочность при изгибе	кПа	234,4	ASTM C203
Пригодность к компостированию в домашних условиях	–	Да	ASTM D6868
Период компостирования	сут	180	NOAA
Воспламеняемость	–	Быстро воспламеняемый	ASTM E84-12
Долговечность,	год	30	ASTM D2126
Доля биоразлагаемой части материала	%	100%	ASTM D6866
СО ₂ на 1 кг произведённого продукта	экв/кг	2,6	ISO 14040:2006
Водопотребление на 1 кг продукта	л	3,785	ISO 14040:2006

Материал «MusoComposite» является безопасным при правильном использовании и утилизации упаковочного материала потребителем.

Общий рынок мицелевых (упаковочных) материалов на конец 2025 года составляет 93 миллионов долларов, на 2024 год этот показатель равнялся 85 миллионов долларов. По современным прогнозам, к 2035 году этот показатель вырастет до 200-230 миллионов долларов, что свидетельствует об увеличении спроса на мицелиевые упаковочные материалы.

В заключение можно выделить следующие основные достоинства и недостатки мицелиевых материалов, в сравнении с традиционными полимерными материалами:

Достоинства производства мицелиевой упаковки: возобновляемое сырье, высокая скорость разложения в природной среде, потенциально меньшие затраты водных ресурсов и низкий углеродный след, утилизация, функциональное применение.

Недостатки мицелиевой упаковки: низкие механическая прочность, однородность и влагостойкость, недолговечность, пожароопасность, высокая стоимость на современном этапе производства.

Библиографические ссылки

1. Европейское химическое агентство. URL: <https://echa.europa.eu/> (дата обращения: 27.02.2026).
2. Уорсфорд П. Энциклопедия аналитической науки // Каталог “Stanford SearchWorks” URL: <https://searchworks.stanford.edu/view/12721789> (дата обращения: 27.02.2026).
3. Понимание воздействия полиэтилена низкой плотности (ПЭВД) на окружающую среду и пути его применения // PatSnap // URL: <https://eureka.patsnap.com/report-understanding-ldpe-environmental-impact-and-solutions> (дата обращения: 27.02.2026).
4. Пластиковые отходы во всем мире – статистика и факты // Statista GmbH // URL: <https://www.statista.com/topics/5401/global-plastic-waste/> (дата обращения: 27.02.2026).

ДИНАМИКА ВАЛОВЫХ ФОРМ МЕТАЛЛОВ В ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ ДОНБАССА¹

Д. А. Достовалова¹), А. З. Глухов¹), Н. С. Подгородецкий²)

¹) Донецкий ботанический сад, 28323, г. Донецк, ДНР, пр. Ильича, д. 110, donetsk-sad@mail.ru

²) Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
286123, г. Макеевка, ДНР, ул. Державина, д. 2, mailbox@donnasa.ru

Выполнен анализ валового содержания тяжелых металлов в пробах породного субстрата на 4 озелененных породных отвалах Донбасса: шахты бывшей 6/14 (Макеевка), шахты 5/6 имени Димитрова, шахты Заперевальная (Донецк) и шахты № 9 Капитальная (Донецк), а также выполнено сравнение с породой действующих горящих отвалов шахты А.Ф. Засядько и шахты им. М.И. Калинина. В результате выявлено, что концентрация металлов в породе и субстрате различается в локальных участках. Отмечено наличие небольших участков, где количество того или иного элемента превышает среднее содержание по региону.

Ключевые слова: валовое содержание; тяжелые металлы; породный отвал.

DYNAMICS OF GROSS FORMS OF METALS IN MINE WASTE DUMPS OF DONBAS

D. A. Dostovalova¹), A. Z. Glukhov¹), N. S. Podgorodetsky²)

¹) Donetsk Botanical Garden, 110 Ilyich Ave., Donetsk, 283023, Russia, donetsk-sad@mail.ru

²) Donbass National Academy of Construction and Architecture, Derzhavina str., 2, Makeyevka,
286123, Russia, mailbox@donnasa.ru

The analysis of gross heavy metal content in rock substrate samples was carried out at four reclaimed mine waste dumps in Donbas: the former 6/14 mine (Makiyivka), the 5/6 Dimitrov Mine, the Zaperevalna Mine (Donetsk), and Mine No. 9 Kapitalnaya (Donetsk). A comparison was also made with the rock from active burning dumps of the A.F. Zasyadko Mine and the M.I. Kalinin Mine. The results revealed that metal concentrations in the rock and substrate vary across local areas. The presence of small areas where the content of a particular element exceeds the regional average was noted.

Keywords: gross content; heavy metals; mine waste dump.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-34-36>

Актуальность проблемы загрязнения почв металлами в промышленно развитых городах любых размеров не вызывают сомнения. Это вызвано простотой проникновения металлов с дождями и грунтовыми водами, фиксированием в почве и доступностью для растений. Изучение миграции металлов в системе почва-растение позволяет оценить степень их аккумуляции растениями, а также обозначить роль растений в санитарной очистке атмосферного воздуха городских экосистем.

Донбасс – антропогенно измененный регион, большая часть территорий которого представлена трансформированными типами почв – урбаноземами, техноземами, реплантоземами, значительные площади в котором отведены под угольные отвалы горнодобывающих предприятий.

¹ Работа выполнена в рамках государственных заданий ФГБНУ Донецкий ботанический сад по темам «Классификация почвенно-растительного покрова с помощью методов дистанционного зондирования Земли» (Регистрационный № 124101500495-0) и «Комплексное изучение биоресурсного потенциала растений мировой флоры для содействия экологической стабилизации и устойчивого развития».

Общая площадь, занимаемая породными отвалами в некоторых городах региона, достигает 10 % и более от их площади (г. Донецк, Макеевка, Шахтерск, Торез) (данные Министерства угля и энергетики ДНР) [1].

В настоящее время существуют установленные четкие и приблизительные нормативы содержания в почве практически всех металлов. В то же время учитывая то, что почва характеризуется достаточно сложной гетерогенностью системы, сложно придерживаться четких установленных нормативов, особенно в антропогенно трансформированных почвах [2; 3].

Из перечисленных элементов большинство участвуют в образовании минералов и имеют способность к растворению, поглощению, гидратации, выветриванию, окислению и т.д. Это приводит к вторичному образованию минералов (глин), что слагает основной минеральный состав

Процессы поглощения и трансформирования металлов в почвах в другие соединения очень сложны и обусловлены наличием в почве прочных стабильных соединений. Соответственно почва является главным природным компонентом, который более всего подвержен антропогенному воздействию [4].

Риск загрязнения почв велик ввиду того, что почва является ключевым компонентом в круговороте биологических веществ в природе [5].

Целью исследования является сравнительная оценка валового содержания металлов в породе озелененных и действующих горящих отвалов угольных шахт Донбасса.

В 2024 году был произведен отбор проб породного субстрата (согласно Методическим указаниям по определению содержания тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и растениеводства Министерства сельского хозяйства Российской Федерации) на 4 модельных озелененных отвалах горных пород ДНР: шахты бывшей 6/14 (г. Макеевка), шахты 5/6 им. Димитрова, шахты Заперевальная. и шахты № 9 Капитальная (г. Донецк).

Изученные авторами данные о содержании металлов в породе действующих породных отвалов, находящихся в эксплуатации, были получены также на шахте имени А. Ф. Засядько и шахте имени М. И. Калинина от Министерства природных ресурсов и экологии Донецкой Народной Республики.

Лабораторный анализ образцов субстрата пламенным атомно-абсорбционным методом проведен на базе Министерства природных ресурсов и экологии ДНР.

Результаты определения содержания валовых металлов в породе озелененных породных отвалов, мг/кг породы, представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты расчетов валового содержания металлов
в субстрате озелененных породных отвалов, мг/кг**

Отвал	Cd	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Fe	Cr	Mg
Шахты 6/14	1,6	20,3	26,9	9,7	55,1	118,4	22918,9	3,2	349,6
Шахты 5/6 имени димитрова	1,7	45,8	43,1	8,6	42,4	164,3	26030,1	19,0	3882,6
Шахты заперевальная	0,017	57,3	42,2	0,1	53,9	190,2	24190,3	19,2	4906,9
Шахты № 9 капитальная	0,016	46,7	42,0	0,2	171,0	123,3	22636,3	16,3	4553,1

Данные о содержании аналогичных металлов в породе отвалов Калинина и Засядько приведены в табл. 2.

Таблица 2

Валовое содержание металлов в породе действующих горящих отвалов, мг/кг

Отвал	Cd	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Fe	Cr	Mg
Шахты имени м. И. Калинина	1,8	30	50	16,1	20	150	30273,1	15,5	2670,6
Шахты имени а. Ф. Засядько	1,6	20	50	17,0	15	70	27511,0	22,4	5094,5

В результате проведенных анализов выявлено, что превышения содержания Рb в породе отвалов Калинина и шахты Засядько нет, наравне с превышением в субстрате озелененных отвалов от 1,3 до 5 раз. По Zn, превышение во всех отвалах наблюдается от 3 до 7. По-видимому, этот металл трудно усваивается растениями. Превышение примерной допустимой концентрации по Cu наблюдается во всех отвалах и составляет от 6 до 15 долей предельно допустимой концентрации, что также может быть связано с низким уровнем поглощения этого металла растениями. По Co, превышение примерной допустимой концентрации не наблюдается на отвалах № 9 «Капитальная» и «Заперевальная». Превышение в 3 раза наблюдается в породе горящих отвалов. На отвалах ш. 6/14 и 5/6 им. Димитрова – в 1,7 – 1,9 раза. На озелененных отвалах наблюдается снижение содержания в субстрате кобальта, соответственно, кобальт усваивается растениями.

По Cr ситуация крайне плачевная – превышение на всех исследованных отвалах составляет от 64 до 1120 долей предельно допустимой концентрации. Cr плохо усваивается растениями. Основным фактором накопления этого элемента в осадочных породах является наличие глинистых частиц и органического вещества. Для Ni в субстрате озелененных отвалов приблизительные нормативы превышены от 6 до 10,5 долей предельно допустимой концентрации, в обоих отвалах активно горящей породы – в 12 раз. В экзогенных условиях в результате этого процесса в коре выветривания накапливается никель. По Fe зашкаливающие показатели наблюдаются во всех отвалах, но несколько выше в породе активно горящих. Причиной опять-таки может быть длительное выветривание или метаморфоз.

Основопологающим фактором, регламентирующим диапазоны валовых концентраций металлов в верхних горизонтах, является почвообразование. Во время рекультивации при нанесении плодородного слоя почвы происходит накопление металлов в гумусовой составляющей и распределение металлов, а также их рассеивание, обусловленное процессами, происходящими в почвах. В том числе происходит активное поглощение металлов, способных переходить в подвижную форму, растениями.

Результаты исследований могут быть полезны при формировании плана технической и биологической рекультивации шахтного породного отвала и создании универсальной технологии.

Исследования показали, что концентрация металлов в породе и субстрате различается в локальных участках. Отмечено наличие небольших участков, где количество того или иного элемента превышает среднее содержание по региону. Обозначена необходимость разработки универсальной методики нормативов предельно допустимых концентраций металлов для различных типов антропогенно трансформированных почв с учетом их физико-химических свойств.

Библиографические ссылки

1. Экологический мониторинг ландшафтных техногенных новообразований / Д. А. Достовалова [и др.] // Вестник РУДН, том 32 № 4, 2024: серия Экология и безопасность жизнедеятельности. С. 431–445.
2. *Цешковская Е. А.* Геоэкологические аспекты реабилитации нарушенных горнодобывающей промышленностью земель на примере Карагандинской области Республики Казахстан. Автореф. дис. д-ра техн. наук. Калининград, 2023. 23 с.
3. The environmental condition in the area of rock dumps at the Vostochny section of the Republic of Kazakhstan / Chynarkul Karasartova [et al.] // E3S Web of Conferences 592, 05026, 2024. 7 p.
4. *Артемов И. А., Попов Ю. В., Шарова Т. В.* Минералого-петрографическая зональность пород горящих терриконов песчано-глинистого состава Восточного Донбасса // Успехи современного естествознания, 2022. № 11.
5. *Галямов А. А., Кирилов А. В., Скитин Л. Н.* Восстановление техногенно нарушенных земель полуострова Ямал: монография. Тюмень. Изд-во ТИУ, 2023. 181 с.

ОЦЕНКА АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Н. В. Емельяненко¹⁾, О. И. Родькин¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, attractive675@mail.ru, aleh.rodzkin@rambler.ru

В статье рассматривается влияние осадков сточных вод на агрофизические показатели. Актуальность темы обусловлена необходимостью утилизации растущего объема отходов городских очистных сооружений и поиском эффективных нетрадиционных ресурсов для улучшения свойств почв.

Ключевые слова: гранулометрический состав; плотность; влажность.

EVALUATION OF AGROPHYSICAL INDICATORS OF SEWAGE SLUDGE

N. V. Emelianenko¹⁾, A. I. Rodzkin¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, attractive675@mail.ru, aleh.rodzkin@rambler.ru

This article examines the impact of sewage sludge on agrophysical parameters. The relevance of this topic stems from the need to utilize the growing volume of waste from municipal wastewater treatment plants and the search for effective, non-traditional resources to improve soil properties.

Keywords: particle size distribution; density; moisture content.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-37-40>

Отдельные частицы (гранулы) называются механическими элементами. Близкие по размерам механические элементы объединяются в группы фракций. Соотношение частиц различной крупности, выраженное в процентах, называется гранулометрическим (механическим) составом почвы. При гранулометрическом анализе вначале отделяют на сите частицы крупнее 1 см, относящиеся к каменистой части (скелету почвы). Преобладание в составе почвы той или иной фракции определяет ее свойства. Песчаные фракции имеют высокую водопроницаемость и не обладают способностью удерживать влагу. По мере уменьшения размеров песчаных гранул заметно возрастает водоудерживающая способность и увеличивается высота подъема воды по капиллярам. При увлажнении песок не набухает, при сминании рассыпается (не обладает пластичностью и липкостью). Пылеватые фракции медленно впитывают влагу, хорошо ее удерживают, при увлажнении незначительно набухают. Пластичность и липкость у них слабо выражены. Молекулярная влагоемкость, набухание, пластичность резко возрастают у частиц размером менее 0,1 мм.

Химический и минералогический составы почвы также зависят от размеров фракций. В песчаных и пылеватых фракциях преобладают первичные материалы (кварц, ортоклаз, микроклии, альбит), а также инертные соединения кремнекислоты. Илистая фракция в основном состоит из вторичных минералов с высокой степенью дисперсности (монтмориллонит). Кроме того, в состав илистой фракции входят органические коллоиды (гумус), поэтому она является самой плодородной частью почвы с высокой поглотительной способностью [1].

Результаты анализа почв с внесенными осадками сточных вод на гранулометрический состав представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа гранулометрического состава осадков сточных вод, внесенных в почву

Проба	Процент просеивания пробы через ячейки размера, мм				
	<1	1-2	2-5	5-7	7-10
Кек (30 кг)	24,18	21,00	20,09	18,2	0,17
	31,42	25,74	14,91	14,82	13,11
	23,40	21,46	16,98	15,65	22,51
	23,30	22,60	17,41	15,20	21,49
	21,64	23,13	17,68	15,26	22,29
Среднее	24,79	22,79	17,41	15,83	15,91
Кек (15 кг)+ песок (15 кг)	12,31	13,26	15,67	27,54	31,21
	27,62	22,76	15,71	14,02	19,89
	26,29	26,83	15,66	16,10	15,26
	28,03	22,60	17,41	15,20	21,49
	26,55	26,56	15,16	16,40	15,33
Среднее	24,16	22,40	15,92	17,49	17,04
Кек (22,5)+ песок (7,5)	25,46	22,38	15,95	23,84	12,37
	30,55	27,11	15,30	12,79	14,25
	26,79	24,32	17,14	17,11	14,64
	24,74	24,52	16,63	17,25	16,86
	29,67	22,56	16,12	16,35	15,30
Среднее	27,44	24,18	16,23	17,47	14,68
Кек (7,5)+ песок (22,5)	25,37	19,75	16,08	12,74	26,06
	37,74	24,76	15,48	14,66	12,34
	34,22	23,37	15,18	13,86	13,38
	26,89	30,37	15,50	13,83	13,41
	24,65	28,46	16,42	15,26	15,21
Среднее	29,77	25,34	15,73	14,07	16,08
Песок	26,61	25,76	20,01	16,94	10,28
	31,25	26,11	15,13	15,20	12,30
	31,04	25,16	14,44	14,41	14,95
	40,99	23,32	11,69	11,71	12,30
	37,50	23,49	12,91	12,90	13,20
Среднее	33,48	24,77	14,84	14,23	12,61

1. В исходном кеке (30 кг) преобладают мелкие фракции:

– <1 мм – в среднем около 24,79 %

– 1–2 мм – около 22,79 %

– 2–5 мм – около 17,41 %

– Крупные фракции (5–7 мм, 7–10 мм) представлены значительно меньше (в сумме ≈ 31 %).

Это указывает на высокую долю мелких частиц, что характерно для обезвоженных осадков сточных вод.

2. Смеси кекка с песком

– При добавлении песка (крупная фракция) распределение меняется:

– Кек 15 кг + Песок 15 кг – увеличивается доля фракции 5–7 мм (в среднем ≈ 17,49 %) и 7–10 мм (≈ 17,04 %), что связано с песчаной составляющей.

– Кек 22,5 кг + Песок 7,5 кг—ближе к исходному кеку, но с небольшим увеличением фракций 5-7 мм.

– Кек 7,5 кг + Песок 22,5 кг—ещё больше сдвигается в сторону песка, так как песок сам по себе имеет высокий процент <1 мм, поэтому смесь сохраняет мелкодисперсность.

3. Чистый песок

– Преобладают фракции <1 мм (в среднем 33,48 %) и 1-2 мм (24,77 %).

– Это мелкий песок, что объясняет, почему даже при его добавлении к кеку мелкие фракции остаются доминирующими.

4. Во всех пробах фракция 2-5 мм остаётся довольно стабильной (≈15-17 %). Добавление песка не приводит к радикальному увеличению крупных фракций (7-10 мм), потому что используемый песок сам по себе мелкий.

Характеристика плотности осадков сточных вод, внесенных в почву представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты анализа плотности осадков сточных вод
внесенных в почву**

Повторность	Кек (30 кг)	Кек (7,5)+ песок (22,5)	Кек (22,5)+ песок (7,5)	Кек (15 кг)+ песок (15 кг)	Песок
1	1,744	1,579	1,791	1,568	1,418
2	1,717	1,530	1,575	1,616	1,459
3	1,700	1,560	1,662	1,628	1,445
4	1,646	1,568	1,608	1,600	1,452
5	1,707	1,555	1,712	1,594	1,457
Среднее	1,7028	1,5584	1,6696	1,6012	1,4462

Наиболее высокая плотность (более 1 г/см³) характерна для осадков сточных вод массой 30 кг, что говорит о высокой степени обезвоживания в период обработки. Что делает его удобным для утилизации.

Наиболее низкая плотность характерна для песка, что говорит о его рыхлой структуре. Также песок с более низкой влажностью (о чем свидетельствуют данные, приведенные ниже) как следствие, имеет более низкую влажность.

Результаты анализа влажности осадков сточных вод, внесенных в почву представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты анализа плотности осадков сточных вод
внесенных в почву**

Фактическое значение %					
Повторность	Кек (30 кг)	Кек (15кг)+ песок (15 кг)	Кек (22,5)+ песок (7,5)	Кек (7,5)+ песок (22,5)	Песок
1	10,0	11,9	9,7	16,7	24,7
2	9,8	11,1	9,4	15,8	23,8
3	9,6	10,9	9,5	16,2	24,5
4	9,7	10,8	9,4	15,7	23,9
Среднее	9,8	11,2	9,5	16,1	24,2

Наиболее низкая влажность характерна для кека (9,8 %), что является результатом предварительного обезвоживания и сушки на производстве, а также использование термостатно-ве-

сового метода в лаборатории. Этот делает кек более пригодным для дальнейшего использования в качестве органоминерального удобрения.

Наиболее высокая влажность отмечается у песка (24,2 %). Песок, осевший на дне песколовки удаляется насосами, затем, с помощью гидроциклонов дополнительно промывается водой. Затем обезвоживается. Осадки сточных вод в свою очередь проходят более длительные этапы обработки, о которых сказано выше.

Чем больше доля песка в смеси, тем выше влажность конечной смеси, что отчетливо прослеживается по данным в таблице.

Библиографические ссылки

1. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. Минск: Белорус. наука, 2007. 390 с.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ ЛОКАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. А. Ересько¹⁾

¹⁾ Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»,
ул. Якубова, 76, 220096, г. Минск, Беларусь, omos@ecoinfo.by

Обоснована роль оценки устойчивости почв как научно-методической основы для территориально-дифференцированного нормирования антропогенной нагрузки и ключевого критерия в системе локального мониторинга окружающей среды. Это позволило перейти от констатации факта загрязнения к превентивному управлению экологическими рисками на локальном уровне. Результаты интегрированы в действующие нормативные документы (ТКП 17.03-06-2019, ЭкоНиП 17.03.01-001-2021, ТКП 17.13-25-2025), что подтверждает научную и практическую значимость выбранного методологического подхода.

Ключевые слова: устойчивость почв; локальный мониторинг окружающей среды.

SOIL STABILITY ASSESSMENT AS AN INTEGRAL PART OF LOCAL ENVIRONMENTAL MONITORING

М. А. Yeresko¹⁾

¹⁾ The Republican Scientific and Research Unitary Enterprise «Ecology»,
Yakubova str., 76, 220096, Minsk, Belarus, omos@ecoinfo.by

This paper demonstrates the role of soil stability assessment as a scientific and methodological basis for territorially differentiated regulation of anthropogenic loads and as a key criterion in the local environmental monitoring system. This is necessary for the transition from pollution detection to preventive management of environmental risks at the local level. The results have been integrated into current regulatory documents (TKP 17.03-06-2019, EkoNiP 17.03.01-001-2021, ТКП 17.13-25-2025), which confirm the scientific and practical validity of the methodological approach.

Keywords: soil stability; local environmental monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-41-45>

Современный этап развития геохимии и географии почв требует перехода от классических статических моделей оценки антропогенного воздействия к динамическим системам прогнозного мониторинга. Несмотря на значительный объем фундаментальных исследований (в частности, труды А. С. Федорова, М. А. Глазовской), проблема оперативного количественного выражения устойчивости почв как функции конкретного природно-территориального комплекса (далее – ПТК) остается дискуссионной. Существующий разрыв между академическими изысканиями и правоприменительной практикой экологического нормирования диктует необходимость разработки верифицируемых алгоритмов исчисления интегральной устойчивости почв.

В управлении качеством окружающей среды для обеспечения экологической информацией и принятия эффективных управленческих решений создана и динамично развивается Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС) [1]. Согласно пункту 3 положения о порядке ведения НСМОС, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 14 июля 2003 г. № 949 [2], данная система включает 13 видов мониторинга, одним из которых является локальный мониторинг окружающей среды [3; 4].

Локальный мониторинг окружающей среды может быть определен следующим образом: «локальный мониторинг окружающей среды – система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки экологического состояния и динамики его изменения, а также прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием антропогенных факторов применительно к территории, которая является зоной ответственности субъекта, осуществляющего хозяйственную и иную деятельность, сопровождаемую использованием природных ресурсов и оказанием воздействия на окружающую среду» [5].

Одним из объектов локального мониторинга окружающей среды являются почвы (грунты). Почва – гетерогенная, полидисперсная, многофазная незамкнутая система, элементы которой находятся в динамичном равновесии друг с другом и с внешней средой, характеризующаяся способностью поддерживать химическое состояние на неизменном уровне при воздействии на нее потоков химических веществ природного и антропогенного характера [6].

В соответствии с подпунктом 3.3 пункта 3 ГОСТ 25100-2020, *грунт* – любая горная порода, почва, осадок и техногенные минеральные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и часть геологической среды, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью [7].

Почва как компонент природно-территориального комплекса выполняет ряд экологических функций:

- геосистемные (средообразующие) функции – почва как главный связующий узел (интерфейс) между биотическими и абиотическими компонентами (аккумуляция и трансформация энергии, влагорегулирование, геохимический барьер);

- биосферные функции – почва как среда обитания и генетический банк для огромного количества организмов, определяющих устойчивость биоценоза, обеспечивает условия для фотосинтеза и роста биомассы, является базисом для процессов минерализации и гумификации;

- информационные и регуляторные функции – почва как «интеллектуальная» часть природно-территориального комплекса.

Почва не является изолированным объектом, а, будучи сама гетерогенной, полидисперсной, многофазной незамкнутой системой, встроена в природно-территориальный комплекс с его внутренними и внешними взаимосвязями и процессами, различающимися в пространстве и во времени. Географический детерминизм почвенных свойств и процессов проявляется в особенностях и интенсивности выполняемых почвой экологических функций.

Устойчивость почв Беларуси не является инвариантным внутренним свойством, а представляет собой сложную, динамическую функцию, которая географически детерминирована ведущими природными факторами и проявляется в виде четких пространственно-временных закономерностей дифференциации на микро- (физико-географический район), мезо- (физико-географическая провинция), макроуровне (республика). Почвообразующие породы, рельеф, климат (физико-географические факторы) определяют (детерминируют) устойчивость почв, а не просто сосуществуют с ней.

Авторы расходятся во мнении при определении понятий «устойчивость» и «буферность» и часто используют их как синонимы. Представители почвенного института имени В. В. Докучаева Российской академии сельскохозяйственных наук, рассматривая устойчивость почв к деградации по плодородию [8], выделяют три возможных механизма: адаптация, рассеяние воздействия и регенерация. Буферность почвенного образца авторы трактуют как характеристику механизма адаптации косой части почв.

В работах М. А. Глазовской [9–12], Н. П. Солнцевой [13] *устойчивость почвы* как компонента природно-территориального комплекса определена в двух аспектах: как способность почвы *сохранять* (устойчивость противостояния, показателем которой и является буферность) и *восстанавливать* (устойчивость нормализации) системные характеристики, обеспечивающие нормальное функционирование биокосной системы.

В работах других авторов, например, Н. Н. Мирошниченко [14], понятия «устойчивость» и «буферность» четко разграничены: устойчивость представлена как соотношение нагрузки и реакции системы на оказанное воздействие, а *буферность* (способность противодействовать изменению системных характеристик) – как мера внутрисистемных возможностей компенсировать влияние фактора [14]. Соотношение воздействия внешнего фактора и отклика системы используют для обозначения устойчивости территории [15; 16]. Буферная способность почв также служит мерой устойчивости к внешнему негативному воздействию.

В отличие от фундаментальных работ начала 2000-х гг. (в частности, А. С. Федорова, 2002 [17]), носивших преимущественно дескриптивный (описательный) характер в части выявления общих закономерностей устойчивости, вызовы современности требуют реализации прогностико-управленческого подхода. Научная новизна заключается в разработке динамических моделей устойчивости, которые служат не только для фиксации состояния почв исследованных территорий, но и являются инструментом превентивного экологического нормирования антропогенной нагрузки в современных социально-экономических условиях.

Отправной точкой здесь может быть оценка кислотно-основной буферности почв как меры внутрисистемных возможностей компенсировать влияние внешнего фактора, воздействующего на природную систему в условиях Беларуси [18]. Данные о кислотно-основной буферности почв позволяют сравнить содержание кислотных (щелочных) компонентов, поступающих в почву, с емкостью буферности, количественно выражающей максимально допустимую кислотную (щелочную) нагрузку, и выявить территории, чувствительные к подкислению (подщелачиванию) [18]. Установленные параметры емкости буферности к кислотным и щелочным воздействиям целесообразно использовать для мониторинга химического загрязнения и прогностической оценки степени деградации почв под влиянием атмосферных выпадений с экстремальной реакцией, в том числе в рамках локального мониторинга окружающей среды для выявления ореолов загрязнений и установления причин их формирования. Это даст возможность полноценно перейти от санитарно-гигиенического к экологическому подходу в оценке состояния окружающей среды и, далее, к расчету норматива допустимой антропогенной нагрузки, учитывающей природные особенности конкретных территорий.

В основу исследования положена гипотеза о физико-географической детерминированности устойчивости почв. В отличие от унифицированных подходов, устойчивость рассматривается нами как динамическая переменная, определяемая иерархическим уровнем ПТК (микро-, мезо- и макроуровни). Для количественного выражения этого параметра предлагается использование интегрального показателя устойчивости (I_s), объединяющего три блока индикаторов:

- геохимический блок: буферная емкость, содержание органического вещества, емкость катионного обмена;
- ландшафтно-геоморфологический блок: литологический состав почвообразующих пород, экспозиция и крутизна склонов, определяющие интенсивность плоскостного смыва и латеральной миграции;
- гидротермический блок: биоклиматические коэффициенты, детерминирующие скорость самоочищения и биологическую активность почв.

Ключевым отличием предлагаемой методики является введение системы весовых коэффициентов для каждого из индикаторов в зависимости от региональной специфики природно-территориальных комплексов макро- мезо- и микроуровня Беларуси. Это обеспечивает:

- установление индивидуальных лимитов допустимой нагрузки для предприятий в зависимости от рекуперационной способности конкретных почвенных горизонтов;
- минимизацию рисков трансграничного переноса загрязняющих веществ в сопряженные среды (грунтовые воды, растительность);
- научно обоснованное выделение зон экологического неблагополучия с учетом их естественного потенциала устойчивости.

Трансформация концепции устойчивости почв из категории теоретического описания в категорию действенного инструмента экологического менеджмента позволяет существенно повысить эффективность государственного контроля. Практическим подтверждением тому являются принятые и введенные в действие:

– ТКП 17.03-06-2019 (33140) Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по дифференцированному нормированию содержания химических веществ в землях (включая почвы);

– ЭкоНиП 17.03.01-001-2021 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению;

– ТКП 17.13-25-2025 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Комплексная оценка экологического состояния территории административно-территориальной единицы (района) по интегральным параметрам устойчивости экосистем к внешнему негативному воздействию для оптимизации уровня антропогенной нагрузки»;

– Концепция создания автоматизированной информационной системы комплексной оценки экологического состояния территории с применением геоинформационных систем и подбором методик восстановления, улучшения и сохранения состояния экосистем», утверждена заместителем Министра природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь А. К. Стасюкевичем 12.12.2025 г.

Дальнейшее развитие темы связано с цифровой картографической визуализацией параметров устойчивости для оптимизации территориального планирования и обеспечения устойчивого развития географической оболочки.

Методический аппарат базируется на синтезе экспертных оценок и эмпирических данных, полученных в ходе разработки нормативных правовых актов и технических нормативных правовых актов (ТКП, ЭкоНиП). Процесс валидации модели включает сопоставление теоретических зон устойчивости с результатами полевых химико-аналитических исследований почвенного покрова в районах деятельности предприятий и полигонов твердых коммунальных отходов.

Предложенный методологический аппарат прошел многоэтапную верификацию на объектах локального мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Сравнительный анализ расчетных данных интегральной устойчивости с фактическим состоянием почвенного покрова в зонах воздействия крупных промышленных предприятий и полигонов твердых коммунальных отходов в рамках предварительной верификации на репрезентативных выборках подтверждает адекватность выбранных индикаторов.

Использование дифференцированных шкал устойчивости позволило оптимизировать затраты на природоохранные мероприятия за счет точечной локализации участков с минимальной рекуперационной способностью. Таким образом, работа выходит за рамки теоретического моделирования, представляя собой апробированный программно-целевой комплекс, готовый к масштабированию в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС). Это подтверждает, что физико-географическая детерминированность устойчивости почв является не абстрактной категорией, а измеряемым и управляемым фактором экологической безопасности.

Библиографические ссылки

1. О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 20 апреля 1993 г. № 247: в ред. постановления Совета Министров Республики Беларусь от 14.07.2003 г. // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2025.

2. О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 14 июля 2003 г. № 949: в ред. постановления Совета Министров Республики Беларусь от 27.02.2024 г. // ИПС «Эталон» [Электронный ресурс]. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.

3. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты и перспективы / В. И. Ключенович [и др.]. Минск, «Бел НИЦ «Экология», 2013. 36 с.

4. *Ересько М. А.* Особенности проведения локального мониторинга земель на предприятиях // Экология на предприятии. 2012. № 9 (15). С. 69–78.

5. *Ересько М. А., Апанасевич С. В.* Организационно-правовые аспекты локального мониторинга земель // Природные ресурсы. 2015. № 1. С. 124–135.

6. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д. С. Орлов [и др.]. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.

7. Грунты. Классификация: ГОСТ 25100-2020. – Введ. 01.01.2021. – Москва: Стандартинформ, 2020. 44 с. ГОСТ 25100-2020 является межгосударственным стандартом, введен в действие с 1 октября 2021 г. в качестве государственного стандарта Республики Беларусь постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 05 ноября 2020 г. № 64.

8. *Фрид А. С., Гребенников А. М.* Устойчивость почв России к деградации по плодородию при кислотных и щелочных воздействиях // Агрохимия. 1999. № 2. С. 5–11.

9. *Глазовская М. А.* Опыт классификации почв мира по устойчивости к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. 1990. № 9. С. 82–96.

10. *Глазовская М. А.* Качественные и количественные оценки сенсорности и устойчивости природных систем к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. 1994. № 1. С. 134–139.

11. *Глазовская М. А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: метод. пособие. М.: Издательство МГУ, 1997. 102 с.

12. *Глазовская М. А.* Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям // Почвоведение. 1999. № 1. С. 114–124.

13. *Солнцева Н. П.* Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем: сб. науч. ст. / Московск. гос. ун-т; под. ред. М. А. Глазовской. М.: Наука, 1982. С. 181–216.

14. *Мирошниченко Н. Н., Пащенко Я. В., Фатеев А. И.* Показатели буферности и устойчивости в оценке барьерной функции почв // Почвоведение. 2003. № 7. С. 808–817.

15. *Светлосанов В. А.* Расчет меры устойчивости систем к случайным возмущениям // Изв. АНСС-СР. Сер. геогр. н. 1977. № 5. С. 118–121.

16. Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов и окружающей природной среды Московской области / Под ред. Г. В. Добровольского, С. А. Шобы. М.: Издательство МГУ, 2000. 221 с.

17. *Федоров А. С.* Закономерности формирования устойчивости почв к антропогенным воздействиям: дисс. ... докт. геогр. наук: 25.00.36 / Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург, 2002. 258 с.

18. *Ересько М. А.* Оценка кислотно-основной буферности почв Западно-Белорусской физико-географической провинции: дисс. ... канд. геогр. наук: 25.03.01 / Белорусский государственный университет. Минск, 2016. 192 с.

ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА БИОТУ ОТ ЦЕЗИЯ-137 НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Журавков¹⁾, Н. Н. Цыбулько¹⁾, Е. В. Журавков¹⁾, Д. Ю. Кузьменко¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, д. 23 / 1, 220070, г. Минск, Беларусь, zhuravkov@iseu.by

Проведены исследования по определению наиболее значимых радионуклидов в зоне наблюдения территории Гомельской области и определены уровни радиоактивного загрязнения основных компонентов наземных и водных экосистем. Полученные результаты использованы для оценки дозовых нагрузок на основные компоненты биогеоценоза от цезия-137. Радиационная обстановка рассматривалась на разных временных этапах в динамике с 2026 года по 2056 год. Использование результатов, позволяет создать универсальную модель, предназначенную для комплексного представления объектов планирования и управления территориями Гомельской области, их аналитического изучения и мониторинга на основе современных веб и ГИС-технологий.

Ключевые слова: радионуклидное загрязнение; радиационный мониторинг; трофические цепи; дозовые нагрузки; референтные виды биоты.

INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ASSESSING CESIUM-137 DOSE LOADS ON BIOTA. CASE STUDY OF THE GOMEL REGION

V. V. Zhuravkov¹⁾, M. M. Tsybulka¹⁾, E. V. Zhuravkov¹⁾, D. Y. Kuzmenko¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya St., 23 / 1, 220070, Minsk, the Republic of Belarus, zhuravkov@iseu.by

The research was conducted to identify the most significant radionuclides in the Gomel region's observation zone and determine the levels of radioactive contamination of the main components of terrestrial and aquatic ecosystems. The results were used to estimate radiation dose loads on the main components of the biogeocenosis from cesium-137. The radiation situation was examined at various time stages over time from 2026 to 2056. The results allow the creation of a universal model designed for a comprehensive representation of planning and management objects in the Gomel region, their analytical study, and monitoring based on modern web and GIS technologies.

Keywords: radionuclide contamination; radiation monitoring; food chains; dose loads; reference species of biota.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-46-49>

В работе проведен анализ, оценка и применение практических методов и моделей расчета критических доз на референтные виды биоты территории Гомельской области на основе расчетных и экспериментальных данных по загрязнению территории цезием-137. Исходными данными для оценки критических доз на референтные виды биоты территории Гомельской области являлись данные мониторинговых наблюдений в рамках НСМОС за антропогенными объектами и база данных RECONT Белгидромета. В качестве основного экологического критерия радиационного риска принимается максимально допустимая мощность дозы, не приводящая к воздействию на заболеваемость, размножение и продолжительность жизни организмов биоты – экологически безопасный уровень облучения

1 мГр/сут – для млекопитающих, позвоночных животных и сосны обыкновенной, 10 мГр/сут для растений, кроме сосны, и беспозвоночных животных. Расчет доз облучения производился для внешнего облучения. Показателем дозовой нагрузки на биоту является мощность поглощенной дозы в организме в равновесных условиях поступления и выведения радионуклидов из окружающей среды.

Для наземных организмов суммарная мощность поглощенной дозы от отдельного радионуклида может быть определена по следующей эмпирической формуле:

$$\dot{D}_j = \sum_i \dot{D}_{i,j}^{int} + \dot{D}_{i,j}^{ext}$$

$$\dot{D}_j = \sum_i (DCF_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil} \cdot C_i^{soil} + DCF_{ji}^{soil.pl} \cdot f_j^{soil.pl} \cdot \sigma_i) + \sum_i (CR_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil} \cdot C_i^{soil} + CR_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil.pl} \cdot C_i^{soil}) \cdot DC_{ji}$$

где 1-ая сумма позволяет оценить дозу внешнего облучения j-го вида биоты, а 2-ая сумма – дозу внутреннего облучения j-го вида биоты.

f_j^{soil} – доля времени, проводимая j-м видом биоты в почве, отн. единицы;

$f_j^{soil.pl}$ – доля времени, проводимая j-м видом биоты на поверхности земли, отн. единицы;

C_i^{soil} – концентрация i-го радионуклида в почве, Бк/кг;

σ_i – плотность i-го радионуклида на поверхности почвы, Бк/м²;

DCF_{ji}^{soil} – коэффициент перехода от концентрации в почве i-го радионуклида к дозе внешнего облучения j-го вида биоты, (мГр/сут) (Бк/кг)⁻¹;

$DCF_{ji}^{soil.pl}$ – коэффициент перехода от плотности i-го радионуклида на поверхности почвы (глубина до 5 см) к дозе внешнего облучения j-го вида биоты, (мГр/сут) (Бк/м²)⁻¹;

CR_{ji}^{soil} – коэффициент перехода i-го радионуклида из почвы в организм j-го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма) (Бк/кг сух. веса почвы)⁻¹;

DC_{ji} – дозовый коэффициент перехода от активности в теле j-го организма к дозе внутреннего облучения от i-го радионуклида, (мГр/сут) (Бк/кг живого веса организма)⁻¹.

При оценке критических доз и мощности доз излучения на референтные виды наземной биоты использовались данные прямых измерений загрязнения Гомельской области цезием-137 и открытые данные электронной базы данных FREDERICA, баз данных Международных проектов EPIC, FASSET, ERICA и радиобиологических архивов [1–3].

На основании данных радиационного мониторинга Гомельской области с использованием разных моделей, проведен анализ, оценка моделей расчета критических доз для биоты Гомельской области, кроме того, на основе методов геостатистического моделирования (регрессионный кригинг), триангуляции Делоне и моделирования на основе физических процессов миграции построены высокодетализированные карты оценок дозовых нагрузок на референтные виды биоты, выявлены ключевые зоны риска и проанализированы тенденции снижения (или стабилизации) уровней радионуклидов в различных ландшафтно-экологических зонах. Визуализация данных радиоактивного загрязнения территории Гомельской области от цезия-137 проведена с помощью геоинформационных технологий (Quantum GIS ver 3.42). Впервые проведена визуализация данных оценки дозовых нагрузок на биоту в зоне хронического радиационного воздействия в наземных экосистемах Гомельской области методами триангуляции Делоне и триангуляции по обратному расстоянию (IDW) – это методы построения сеток для интерполяции данных, где Делоне строит «правильные» треугольники, избегая острых углов, а IDW интерполирует значения, взвешивая их обратно пропорционально расстоянию от точки, создавая гладкую поверхность, но не «идеальные» треугольники.

Особое внимание уделено прогнозированию эволюции загрязнения с 2026 года до 2056 года. На рис. 1–4 представлена динамика оценки дозовых нагрузок на референтные виды наземной биоты и распределение населенных пунктов по дозовым интервалам от цезия-137 для Гомельской области [4; 6].

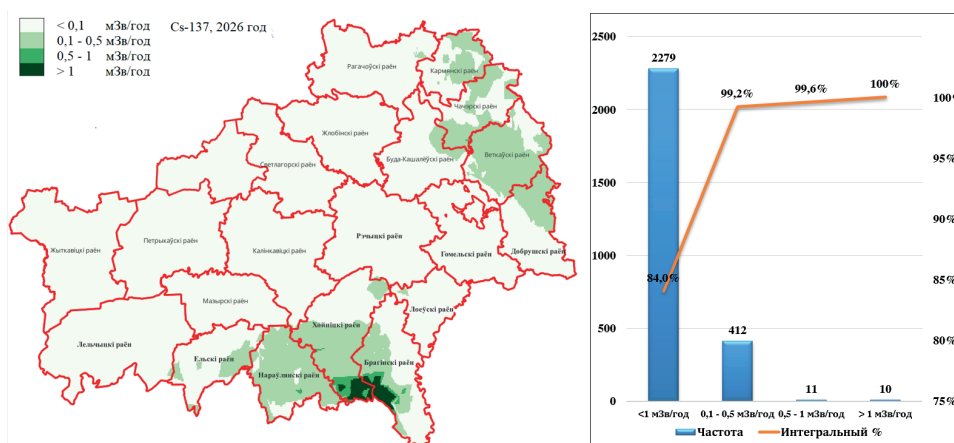


Рис. 1. Оценки дозовых нагрузок на референтные виды наземной биоты территории Гомельской области на 2026 год, данные база данных RECONT Белгидромет

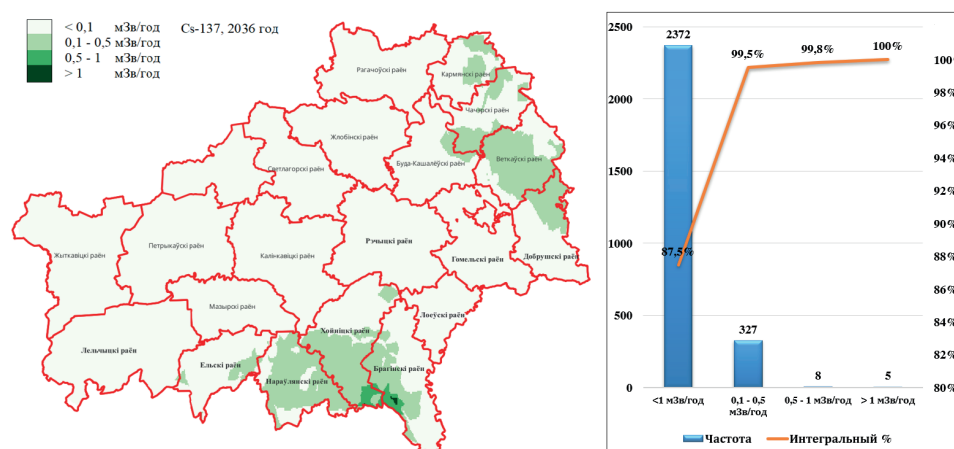


Рис. 2. Оценки дозовых нагрузок на референтные виды наземной биоты территории Гомельской области на 2036 год, данные база данных RECONT Белгидромет

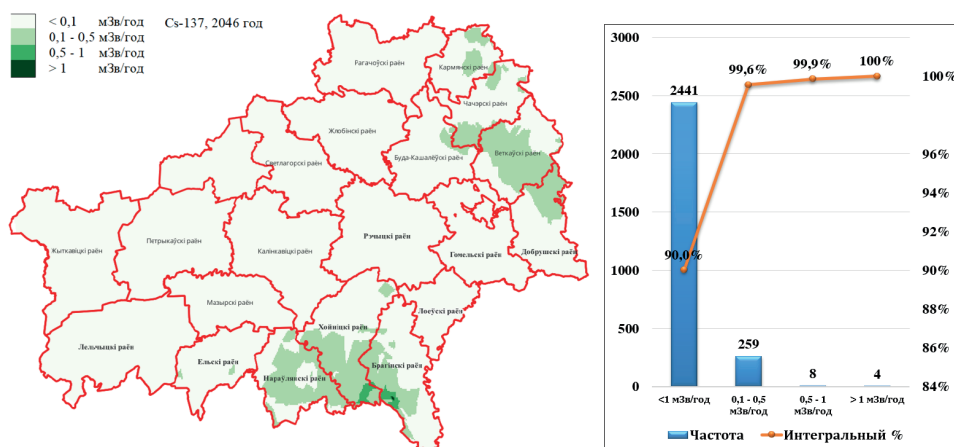


Рис. 3. Оценки дозовых нагрузок на референтные виды наземной биоты территории Гомельской области на 2046 год, данные база данных RECONT Белгидромет

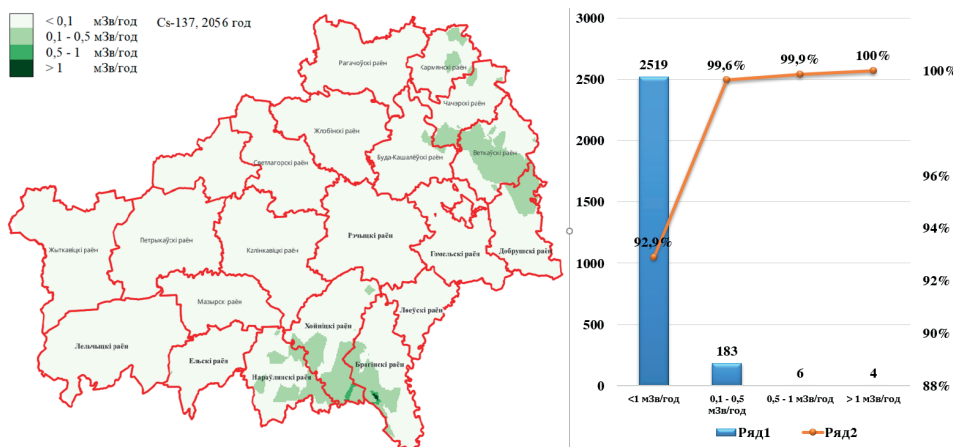


Рис. 4. Оценки дозовых нагрузок на референтные виды наземной биоты территории Гомельской области на 2036 год, данные база данных RECONT Белгидромет

На основании изложенного, можно утверждать, что на всей территории Гомельской области дозовые нагрузки для наземных и водных экосистем не превышают безопасные уровни и находятся в пределах 10^{-5} для наземных экосистем и 10^{-4} для водных экосистем.

Библиографические ссылки

1. RESRAD-BIOTA: A tool for implementing a graded approach to biota dose evaluation. ISCORs Technical Report 2004-02; DOE/EH-0676. National Technical Information Service, Springfield, VA. The Office of Health, Safety and Security. URL: http://res-rad.evs.anl.gov/docs/RESRAD-BIOTA_Manual_Version_1.pdf (дата обращения: 20.04.2018);
2. Larsson C.-M. An overview of the ERICA Integrated Approach to the assessment and management of environmental risks from ionising contaminants // J. Environ. Radioact. 2008. Vol. 99. P. 1361–1370.
3. Prohl Ed. G. FASSET Deliverable 3. Dosimetric models and data for assessing radiation exposure to biota. Framework for the Assessment of Environmental Impact, Contract N° FIGE-CT-2000-00102 // JSF. Swedish Radiation Protection Authority, June 2003. P. 103.
4. Загрязнение сельскохозяйственных земель ^{137}Cs : Динамика, современное состояние, территориальное распространение / Н.Н. Цыбулько [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2025; 1. С. 42–48.
5. Журавков В. В., Антонович О. А. ГИС-технологии как элемент системы принятия решений при оценке дозовых нагрузок в зоне хронического радиационного воздействия // Материалы международной научно-практической конференции, «Управление информационными ресурсами» Минск, 10 марта 2022 г.; Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2022. 366–368 с. ISBN 978-985-527-611-2.
6. Журавков В. В., Антонович О. А. Моделирование процессов поступления радионуклидов в окружающую среду в зоне наблюдения Гомельской области Республики Беларусь // 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. 796 800 с.

ПРОГНОЗ РОСТА ДЕТЕЙ ПРИ ДОСТИЖЕНИИ ВЗРОСЛОГО ВОЗРАСТА

В. А. Иванюкович¹⁾, А. И. Маковецкая²⁾, С. Б. Мельнов³⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, iva@iseu.by

²⁾ Университет Национальной академии наук Беларуси, пер. Калинина, 10, 220 049 г. Минск, Беларусь, sash.makzi@gmail.by

³⁾ Белорусский государственный университет физической культуры, пр-т Победителей, 105, 220020, г. Минск, Беларусь, sbmelnov@gmail.by

Подобраны математические модели для прогноза роста детей при достижении ими взрослого возраста. Рассматривались модели, основанные на росте родителей. Показано влияние генетических и средовых особенностей на связь роста детей и родителей. Оценена связь между средним ростом популяции и его стандартным отклонением, и коэффициентом корреляции.

Ключевые слова: математические модели; прогноз роста; родители; парный t-тест; доверительные интервалы; стандартное отклонение; коэффициент вариации.

PREDICTION OF CHILDREN'S HEIGHT AT ADULTHOOD

U. Ivaniukovich¹⁾, A. Makovetskaya²⁾, S. Melnov³⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dawgabrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, iva@iseu.by

²⁾ University of the National Academy of Sciences of Belarus, Kalinin Lane, 10, 220049, Minsk, Belarus, sash.makzi@gmail.by

³⁾ Belarusian State University of Physical Culture, Pobeditelej av., 105, 220020, Minsk, Belarus, sbmelnov@gmail.by

Mathematical models were developed to predict children's height at adulthood. Models based on parental height were examined. The influence of genetic and environmental factors on the relationship between child and parental height was demonstrated. The relationship between average population height and its standard deviation, as well as the correlation coefficient, was assessed.

Keywords: mathematical models; height prediction; parental height; paired t-test; confidence intervals; standard deviation; coefficient of variation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-50-53>

Отбор детей на ранней стадии подготовки спортсменов международного класса имеет не только социальное, но и экономическое значение. Антропометрические характеристики спортсмена вносят существенный вклад в уровень его достижений. Обращая на них внимание, можно существенно повысить эффективность отбора перспективных юношей и девушек. Изучая антропометрические предпосылки перспективности детей, занимающихся определенными видами спорта, желательно на ранней стадии определить, насколько они соответствуют тому типу, который характерен для выдающихся представителей данного вида спорта.

Одной из основных антропометрических предпосылок подбора детей является длина тела. Ее развитие в период онтогенеза на 80–90% определяется влияниями наследственных факторов. Наследование роста идет по материнской и отцовской линии и связано с множеством генов. Генетический контроль действует на протяжении всего онтогенеза. Длиннотные размеры

тела генетически детерминированы и их коэффициент наследования высок, что позволяет прогностически оценить вероятность достижения определенного роста мальчиков и девочек [1].

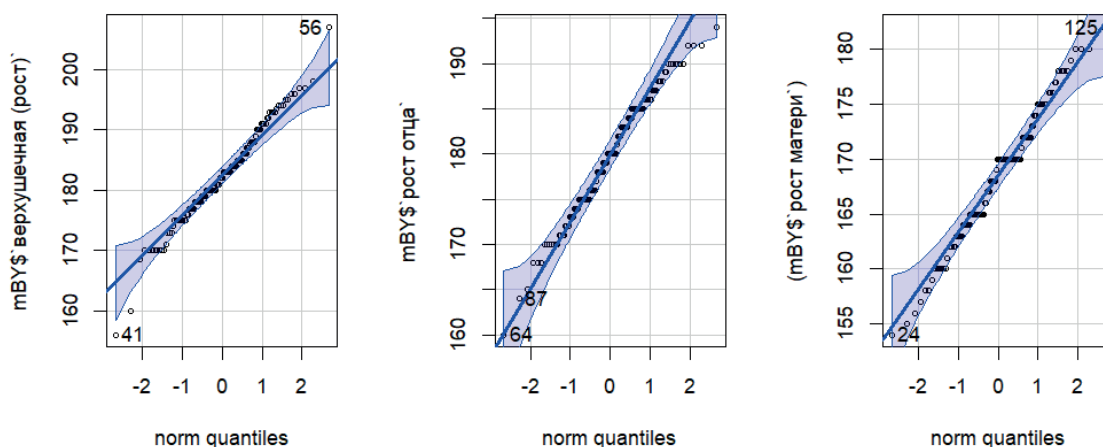
Большинство моделей, используемых для прогноза роста ребенка при достижении им взрослого возраста, базируются на значениях роста его родителей. Кроме генетических предпосылок, связанных с данными родителей, на окончательный рост ребенка влияют и внешние факторы. Поэтому модели для прогноза роста могут быть разными для различных групп населения, проживающих в различных условиях (страна, уровень дохода семьи, место жительства и др.). В проведенном исследовании применены пять описанных в литературе моделей прогнозирования роста, основанных только на данных о росте отца и матери [2]:

- Модель 1. ПР мальчика = $(PO + PM) / 2 + 13$; ПР девочки = $(PO + PM) / 2 - 13$.
 Модель 2. ПР мальчика = $(PO + PM) \cdot 0,54 - 4,5$; ПР девочки = $(PO + PM) \cdot 0,51 - 7,5$.
 Модель 3. ПР мальчика = $(PO + PM) / 2 + 6,4$; ПР девочки = $(PO + PM) / 2 - 6,4$.
 Модель 4. ПР мальчика = $(PO + PM) \cdot 1,08 / 2$; ПР девочки = $((PO \cdot 0,923) + PM) / 2$.
 Модель 5. ПР мальчика = $((PO + PM) \cdot 0,57) - 14,5$; ПР девочки = $((PO + PM) \cdot 0,55) - 5$,
 где ПР – прогнозируемый рост (см), PO – рост отца (см), PM – рост матери (см).

В работе использованы данные антропологического мониторинга студентов Белорусского государственного университета физической культуры. Были отобраны данные о росте 133 мужчин и 70 женщин из Беларуси и 73 мужчин и 11 женщин из Китая, а также их отцов и матерей. Тест Шапиро-Уилка показал, что все данные нормально распределены. Значения p тестов для исследуемых групп представлены в таблице, квантиль-квантильные графики для нормального распределения роста мужчин Беларуси и их родителей – на рисунке.

Значение p в тесте Шапиро-Уилка для распределения данных о росте в исследуемых группах

	мужчины			женщины		
	студенты	отцы	матери	студенты	отцы	матери
Беларусь	0,15	0,14	0,13	0,08	0,57	0,36
Китай	0,13	0,30	0,57	0,65	0,98	0,85



Квантиль-квантильные графики для значений роста мужчин Беларуси и их родителей

Наиболее подходящие модели подбирались на основании результатов парных t-тестов, которые реализованы как базовые функции в языке программирования R.

Для мужчин, проживающих в Беларуси, нет статистически значимого отличия в средней ошибке прогноза роста для группы только при использовании модели 2. При сравнении реального роста с прогнозным, полученным по модели 2, статистика $t = -1,8556$, значение

$p=0,066$, средняя разность истинных и прогнозных значений роста $-1,1$ см и 95 %-ый доверительный интервал для средней разности значений от $-2,20$ см до $0,07$ см. В среднем прогноз дает ошибку в сторону меньшего значения роста. Результаты вычислений в среде R для модели 2 следующие:

```
> t.test(mBY$`верхушечная (рост)` , mBY$модель2, paired=T)
Paired t-test
data: mBY$`верхушечная (рост)` and mBY$модель2
t = -1.8556, df = 132, p-value = 0.06575
alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-2.20150169 0.07037387
sample estimates:
mean difference
-1.065564
```

Для женщин из Беларуси средняя ошибка прогноза роста в группе статистически значимо не отличается от нуля при использовании модели 3: $p = 0,1087$, средняя разность истинных и прогнозных значений роста $+1,0$ см и 95 %-ый доверительный интервал для средней разности значений от $-0,22$ см до $2,13$ см:

```
> t.test(fBY$`верхушечная (рост)` , fBY$модель3, paired=T)
Paired t-test
data: fBY$`верхушечная (рост)` and fBY$модель3
t = 1.6252, df = 69, p-value = 0.1087
alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2177548 2.1320405
sample estimates:
mean difference
0.9571429
```

Для мужчин из Китая прогнозы роста по всем пяти моделям дают хоть и небольшую, но статистически значимую среднюю ошибку по группе. Наиболее точный прогноз получен при использовании модели 5:

```
> t.test(mCH$`верхушечная (рост)` , mCH$модель5, paired=T)
Paired t-test
data: mCH$`верхушечная (рост)` and mCH$модель5
t = 2.8856, df = 72, p-value = 0.005152
alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.5369437 2.9364809
sample estimates:
mean difference
1.736712
```

Среднее прогнозное значение роста в группе превышает истинное на $1,74$ см при доверительном интервале от $0,54$ до $2,94$ см.

Все использованные модели дают неудовлетворительный результат прогноза роста женщин из Китая. Лучший результат дает среднюю ошибку прогноза в $4,3$ см при доверительном

интервале от 0 до 8,7 см (модель 2). Очевидно, что для получения достоверных выводов недостаточно имеющихся данных о 10 измерениях.

Таким образом, представленные результаты показывают возможность прогнозирования ожидаемого роста взрослого человека на основании роста отца и матери при учете генетических и средовых особенностей.

На основании статистического анализа нескольких сотен тысяч измерений, хранящихся в базе данных UK Biobank, было показано, что имеется слабая линейная зависимость среднего роста популяции и его стандартного отклонения, в то время как коэффициент вариации, равный отношению стандартного отклонения роста к среднему росту, такой зависимости не имеет [3].

В проведенном нами исследовании использовались данные о росте в 12 группах людей. Данные о среднем росте в группах и стандартных отклонениях соответствуют нормальному распределению (значения p в тестах Шапиро-Уилка равны 0,3498 и 0,8211 соответственно). Линейная регрессия показала, что на использованном наборе измерений не обнаружена статистически значимая зависимость стандартного отклонения и коэффициента корреляции от среднего роста в группе. Для стандартного отклонения получен коэффициент наклона линейной зависимости $k = 0,056$ при вероятности принятия нулевой гипотезы об отсутствии линейной зависимости $p = 0,173$, для коэффициента корреляции $k = 0$ и $p = 0,666$ соответственно.

Однако на ранней стадии исследования, когда количество измерений в группах было меньшим, зависимость стандартного отклонения от среднего роста в группе обнаруживалась – $k = 0,118$ при $p = 0,026$ (для коэффициента корреляции по-прежнему $k = 0$ при $p = 0,104$). Следовательно, вывод о наличии или отсутствии зависимости величины стандартного отклонения от среднего роста популяции можно сделать, существенно повысив точность статистического анализа.

Библиографические ссылки

1. *Алексанянц Г. Д., Маякова О. В.* Генетические и средовые детерминанты, определяющие прогнозирование длины тела // *Фундаментальные исследования*. 2008. №11. С.91–93.
2. JustLady. Вычисляем конечный рост ребенка: 5 популярных формул. URL: <http://www.justlady.ru/articles-137371-vychislyaem-konechnyy-rost-rebenka-5-populyarnyh-formul>. (дата обращения: 10.09.2025).
3. The limits of normal approximation for adult height / Sergei A. [et al.] // *Genetics European Journal of Human*. URL: <https://doi.org/10.1038/s41431-021-00836-7> (дата обращения: 10.10.2025).

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ОСТРЫХ АЛЕРГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

В. А. Иванюкович¹⁾, Е. А. Минаева¹⁾, А. П. Рубан²⁾,

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, г. Минск, 220070, Беларусь, iva@iseu.by

²⁾ ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», ул. Академическая, 27, г. Минск, Республика Беларусь, 220072, annaruban7@yandex.ru

Создано мобильное программное приложение для операционной системы iOS, предназначенное для оценки степени тяжести острых аллергических реакций и выявления анафилаксии, позволяющее быстро и объективно дать оценку состояния пациента. Созданы удобные интерфейсы для ввода данных и вывода результатов. Приложение может быть использовано в медицинской практике для поддержки принятия клинических решений.

Ключевые слова: острые аллергические реакции; степень тяжести; мобильное приложение; медицинский протокол; алгоритм; витальные параметры; субградационная оценка.

MOBILE APPLICATION FOR ASSESSING THE SEVERITY OF ACUTE ALLERGIC REACTIONS

U. Ivanyukovich¹⁾, E. Minaeva¹⁾, H. Ruban²⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dawgabrodskaya str., 23/1, Minsk, 220070, Belarus, iva@iseu.by

²⁾ State Scientific Institution "Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus", 27 Akadehmichnaya street, Minsk, Belarus, 220072, annaruban7@yandex.ru

A mobile software application for the iOS operating system has been created. It is designed to assess the severity of acute allergic reactions and identify anaphylaxis, allowing for a quick and objective evaluation of the patient's condition. User-friendly interfaces have been created for data input and result display. This application can be used in medical practice to support clinical decision-making.

Keywords: acute allergic reactions; severity assessment; mobile application; medical algorithm; vital parameters; subgrading assessment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-54-57>

Острые аллергические реакции (ОАР) относятся к числу наиболее опасных неотложных состояний в современной клинической практике. Они характеризуются внезапным началом, быстрым нарастанием симптомов и возможным поражением сразу нескольких систем организма. Наиболее тяжелой формой ОАР является анафилаксия, которая без своевременного оказания медицинской помощи может привести к тяжелым осложнениям и летальному исходу. Одной из ключевых проблем при оказании помощи пациентам с ОАР является необходимость максимально быстрой и точной оценки степени тяжести состояния [1; 2]. Ошибки или задержка в диагностике могут существенно снизить эффективность лечения.

Предлагаемое программное приложение для операционной системы iOS предназначено для автоматизации расчета степени тяжести реакции и формирования пояснения результата. Его использование обеспечивает быструю, объективную и стандартизированную клиниче-

скую оценку состояния пациента в соответствии с концепцией совершенствования организации помощи детям с острыми аллергическими реакциями [3].

В приложении реализован медицинский алгоритм оценки степени тяжести ОАР.

Для объективной оценки степени тяжести ОАР в современной клинической практике применяется метод субградационной оценки симптомов, основанный на трехуровневой классификации: «Л – легкая», «У – умеренная», «Т – тяжелая» (Л-У-Т). Данный подход позволяет стандартизировать интерпретацию клинических проявлений и снизить субъективность при принятии врачебного решения [1; 4].

Лёгкая субградация симптомов (Л) характеризуется слабо выраженными проявлениями, не представляющими непосредственной угрозы для жизни пациента. Умеренная субградация симптомов (У) отражает более выраженные проявления аллергической реакции, сопровождающиеся ухудшением общего состояния пациента. Тяжелая субградация симптомов (Т) характеризуется развитием жизнеугрожающих состояний.

Метод Л-У-Т позволяет оценивать не только общую тяжесть состояния пациента, но и выраженность поражения отдельных систем органов, что имеет принципиальное значение для дальнейшего принятия клинических решений. При оценке тяжести состояния при наличии неврологических нарушений рекомендуется учитывать результаты шкалы ком Глазго [1; 2; 4].

Для корректной оценки степени тяжести ОАР все клинические проявления классифицируются по системам органов. Такой подход позволяет выявить приоритетные поражения и определить степень угрозы для жизни пациента [4].

Основными системами, учитываемыми при оценке состояния пациента, являются по приоритету: сердечно-сосудистая, дыхательная, нервная (критически важные системы), а также наличие ангионевротических отеков слизистых оболочек, проявления со стороны кожного покрова и желудочно-кишечного тракта (некритических системы).

Сердечно-сосудистая система реагирует изменением частоты сердечных сокращений, снижением артериального давления вплоть до развития коллапса. Свидетельством вовлечения дыхательной системы являются появление одышки, бронхоспазма, стридора, кашля и снижения сатурации кислорода. Неврологические симптомы выражаются в виде тревожности, спутанности сознания, заторможенности или потери сознания, а также развития судорог.

К кожным проявлениям относятся крапивница, зуд, эритематозные высыпания. Поражение слизистых оболочек характеризуется заложенностью носовых путей или ринореей, отеком губ, языка, мягкого неба, гортани, развитием нарушением глотания. Проявления со стороны желудочно-кишечного тракта включают боли в животе, тошноту, рвоту, диарею.

Определение субградации симптомов осуществляется на основе их выраженности, распространённости и влияния на общее состояние пациента. Каждый симптом изначально имеет предварительную оценку тяжести субградации – легкую, умеренную или тяжелую.

Если в рамках одной системы органов присутствует хотя бы один симптом, относящийся к тяжёлой категории, общая субградация данной системы автоматически определяется как тяжёлая. При отсутствии тяжелых, но наличии умеренных проявлений система получает умеренную оценку. Если выявлены только легкие симптомы, их количество также имеет значение. При накоплении нескольких легких проявлений возможен переход субградации из лёгкой в умеренную. Такой механизм позволяет учитывать эффект суммарного ухудшения состояния. При полном отсутствии симптомов в системе ей присваивается нулевая оценка, что указывает на отсутствие аллергического поражения данной системы. Применение данных правил реализуется при расчёте степени тяжести ОАР на основании субградаций признаков [1; 2; 4].

Итоговая степень тяжести аллергической реакции определяется на основе совокупности субградаций всех систем организма с использованием шкалы от 0 до 5.

Нулевая степень соответствует отсутствию клинических признаков аллергической реакции. Первая степень характеризуется наличием одиночных легких симптомов в некритиче-

ских системах. Вторая степень определяется при сочетании легких проявлений в нескольких некритичных системах одновременно или наличия в них изолированных умеренных проявлений. Третья степень устанавливается при поражении критически важной системы в легкой субградации. Четвертая степень соответствует наличию умеренной субградации со стороны жизненно важных органов, а пятая степень – наличию тяжелой субградации хотя бы в одной критической системе, что свидетельствует о наличии анафилаксии [2; 4].

Витальные параметры играют важную роль в объективной оценке степени тяжести ОАР. К ним относятся артериальное давление, среднее артериальное давление, частота сердечных сокращений, частота дыхания, сатурация кислорода, возраст пациента и уровень сознания.

Критическое снижение артериального давления свидетельствует о развитии сосудистой недостаточности и требует повышения степени тяжести реакции до максимального уровня. Снижение сатурации кислорода указывает на дыхательную недостаточность, а нарушение сознания – на поражение центральной нервной системы [1; 2].

Особое значение имеет возраст пациента, так как у детей раннего возраста компенсаторные возможности организма снижены, что увеличивает риск неблагоприятного исхода даже при умеренных клинических проявлениях [2; 3]. Таким образом, использование витальных параметров в алгоритме позволяет уточнить степень тяжести аллергической реакции и своевременно выявить критическое ухудшение состояния пациента, требующее немедленного вмешательства.

Алгоритм расчета реализован в виде программного модуля, который обрабатывает выбранные симптомы и введенные витальные показатели, присваивает им соответствующие субградации и автоматически определяет итоговую степень тяжести реакции по шкале от 0 до 5. Логика вычислений полностью соответствует описанному медицинскому алгоритму и основана на системе условий и приоритетов критически важных органов.

Разработка мобильного приложения осуществлялась в среде Xcode, предназначенной для создания программ под операционную систему iOS [5]. Xcode объединяет инструменты для написания кода, проектирования интерфейса, тестирования и отладки, что позволяет реализовать полный цикл разработки в рамках одного проекта. Программная реализация алгоритма выполнена на языке Swift, который обеспечивает надёжность и высокую скорость работы приложения [6].

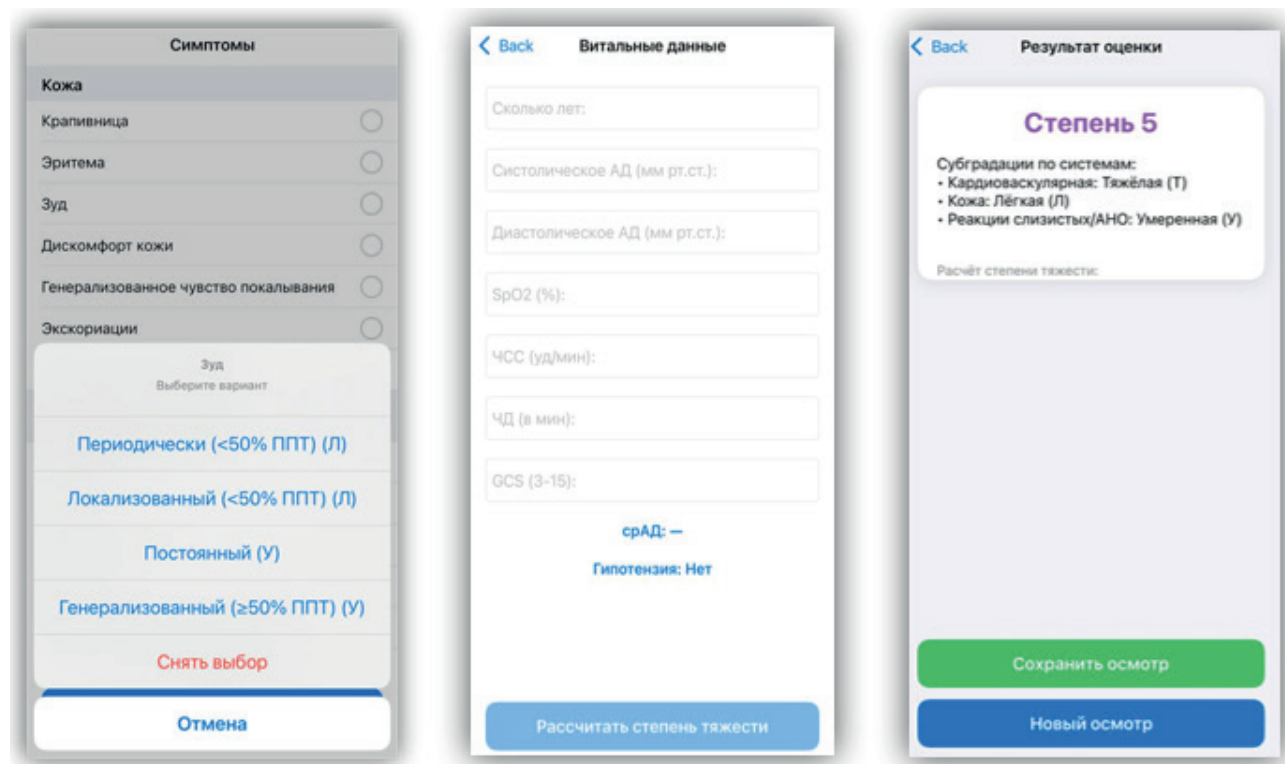
При создании пользовательского интерфейса использовались стандартные компоненты фреймворка UIKit, включая элементы UIButton, UILabel, UITextField и UITableView [7]. Интерфейс организован поэтапно: выбор симптомов, ввод витальных параметров и отображение результата расчёта. Основные экраны:

- 1) экран приложения для выбора симптомов при оценке ОАР;
- 2) экран ввода витальных данных;
- 3) экран вывода оценки состояния пациента.

После запуска приложения пользователь попадает на главный экран, где ему предлагается начать оценку состояния пациента. Врач отмечает наблюдаемые клинические проявления путем нажатия на соответствующие элементы интерфейса. Каждый симптом представлен в виде интерактивного элемента и относится к определённой системе органов. Выбранные симптомы визуально подсвечиваются, что позволяет избежать ошибки ввода. Далее пользователь при необходимости переходит к экрану ввода витальных параметров, где указывает нужные параметры.

После заполнения всех необходимых данных врач нажимает кнопку «Рассчитать», после чего происходит автоматический запуск алгоритма вычисления степени тяжести ОАР. Итоговый результат отображается на отдельном экране, где указываются степень тяжести, субградации по системам и пояснение логики расчета. При необходимости результат может быть сохранен.

Проведено тестирование приложения с участием врачей-специалистов. Алгоритмы приложения продемонстрировали соответствие современным медицинским стандартам и обеспечили высокую надежность интерпретации данных.



Пользовательские интерфейсы мобильного приложения для оценки степени тяжести ОАР

Таким образом, в статье представлено описание мобильного программного приложения для операционной системы iOS, предназначенное для оценки степени тяжести острых аллергических реакций и анафилаксии. Созданы удобные интерфейсы для ввода данных и вывода результатов. Приложение может быть использовано при дальнейшем развитии мобильных медицинских приложений для поддержки принятия клинических решений.

Библиографические ссылки

1. Dribi T. E., Schnadower D., Spergel J. M. Severity grading system for acute allergic reactions: A multidisciplinary Delphi study. *J Allergy Clin Immunol.* 2021 July ; 148(1): 173–181. doi:10.1016/j.jaci.2021.01.003.

2. Рубан А. П., Гончаров А. Е., Ростовцев В. Н. Актуальные задачи аллергологической помощи детям // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. 2022. Приложение. С. 214–218.

3. Рубан А. П. Оценка тяжести острых аллергических реакций // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2023. № 2. С.18–22.

4. Проект инструкции по применению «Метод диагностики анафилаксии на основе оценки степени тяжести острых аллергических реакций», подан на утверждение в Министерство здравоохранения Республики Беларусь

5. Apple Developer Documentation – Xcode Overview. URL: <https://developer.apple.com/documentation/xcode> (дата обращения: 20.02.2026).

6. The Swift Programming Language (официальная документация). URL: <https://developer.apple.com/documentation/swift/> (дата обращения: 23.02.2026).

7. UIKit Documentation. URL: <https://developer.apple.com/documentation/uikit?language=Swift> (дата обращения: 23.02.2026).

СИСТЕМА РАСЧЕТА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В. А. Иванюкович¹⁾, Е. А. Николаенко¹⁾, И. А. Тавгень¹⁾, А. А. Яговдик¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, iva@iseu.by

Разработано и апробировано программное приложение для расчета, анализа и визуализации углеродного следа на промышленных предприятиях. Проведен анализ методологических основ расчета (ISO 14064, GHG Protocol) и существующих решений. Применена адаптированная методика расчета на основе метода коэффициентов эмиссии. Создано кроссплатформенное программное приложение на языке Python с графическим интерфейсом, модулями ввода, расчета и визуализации данных. Выполнена валидация программы и практический расчет углеродного следа СКБЗ «Альбертин» по данным за 2025 год. Суммарный углеродный след составил 8 578,4 т CO₂-экв., наибольший вклад вносят обращение с отходами (68,4 %) и потребление природного газа (12,6 %).

Ключевые слова: углеродный след; парниковые газы; GHG Protocol; ISO 14064; программный комплекс; Python; автоматизация расчетов; СКБЗ «Альбертин»; экологический мониторинг.

CARBON FOOTPRINT CALCULATION SYSTEM FOR AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

U. Ivaniukovich¹⁾, E. Nikolaenko¹⁾, I. Tavgen¹⁾, A. Yahovdik¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dawgabrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, iva@iseu.by

A software application for calculating, analyzing, and visualizing the carbon footprint of industrial enterprises was developed and tested. An analysis of the calculation methodologies (ISO 14064, GHG Protocol) was conducted. An adapted calculation methodology based on the emission factor method was applied. The application is a cross-platform Python software with a graphical interface and modules for data input, calculation, and visualization. The program was validated, and a calculation of the carbon footprint was performed for the Slonim Cardboard and Paper Mill Albertin using data for 2025. The total carbon footprint amounted to 8,578.4 t CO₂-eq., with the largest contributions coming from waste management (68.4 %) and natural gas consumption (12.6 %).

Keywords: carbon footprint; greenhouse gases; GHG Protocol; software system; Python; calculation automation; Slonim Cardboard and Paper Mill Albertin; environmental monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-58-61>

Углеродный след является ключевым количественным показателем воздействия предприятия на климат, выражаемым в эквиваленте диоксида углерода (CO₂-экв.). В соответствии с руководствами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) и стандартами GHG Protocol, при расчете необходимо учитывать прямые выбросы (Scope 1), косвенные энергетические выбросы (Scope 2) и прочие косвенные выбросы (Scope 3) [1; 2].

Для промышленных предприятий, таких как Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» (СКБЗ «Альбертин»), актуальной является задача автоматизации расчетов углеродного следа. Ручные расчеты в электронных таблицах трудоемки, подвержены ошибкам и не позволяют оперативно анализировать влияние изменений в производстве на объем выбросов.

Целью данной работы является разработка и апробация программного комплекса для автоматизированного расчета, анализа и визуализации углеродного следа, адаптированного к условиям Республики Беларусь.

За основу методологии принят метод коэффициентов выбросов. Базовая математическая модель для отдельного ресурса имеет вид линейного уравнения:

$$E_{\text{resource}} = A_{\text{resource}} \cdot EF_{\text{resource}},$$

где E_{resource} – выбросы от потребления ресурса (кг CO_2 -экв.); A_{resource} – объем потребления ресурса (в соответствующих единицах); EF_{resource} – коэффициент выбросов для данного ресурса (кг CO_2 -экв./ед.), верифицированный на основе национального кадастра парниковых газов [3].

Алгоритм расчета суммарного углеродного следа (E_{total}) реализован как итеративное суммирование по всем видам ресурсов:

$$E_{\text{total}} = \sum(A_i \cdot EF_i)$$

Для анализа динамики используется модель временных рядов, включающая компоненты тренда (T_t), сезонности (S_t) и случайной составляющей (ε_t):

$$E_t = T_t + S_t + \varepsilon_t.$$

Для учета сезонных колебаний потребления энергоресурсов введены сезонные коэффициенты (S_{season}).

Выбор инструментов разработки программного приложения определялся требованиями к кроссплатформенности, простоте развертывания и наличию развитых библиотек для научных и инженерных расчетов. В качестве основного языка программирования был выбран Python 3.11 – язык с открытым исходным кодом, который сочетает высокую производительность вычислений (благодаря интеграции с библиотеками на C/C++) и лаконичность синтаксиса. Это позволяет сократить время разработки и обеспечить легкость сопровождения кода [1].

Программный комплекс построен по модульному принципу и включает два основных класса: CarbonFootprintCalculator (бизнес-логика, работа с данными, расчеты) и CarbonFootprintApp (графический интерфейс). Данные хранятся в JSON-файлах (carbon_footprint_data.json и carbon_scenarios.json) с автоматическим сохранением при каждом изменении. Код программы насчитывает более 1000 строк и реализует полный цикл работы: ввод данных, расчет, визуализация, сценарное моделирование и экспорт.

Для построения пользовательского графического интерфейса использована стандартная библиотека Tkinter, входящая в дистрибутив Python. Tkinter предоставляет базовый набор виджетов (окна, кнопки, поля ввода, таблицы, вкладки), достаточный для создания удобного десктопного приложения. Применение Tkinter обеспечивает нативную интеграцию с операционными системами Windows, Linux и macOS без необходимости установки дополнительных зависимостей. Для организации многооконного интерфейса и управления вкладками использован виджет Notebook, что позволило логически разделить функциональные модули: ввод данных, визуализация, сценарное моделирование и экспорт [2].

Для построения графиков использована библиотека Matplotlib – наиболее распространенный инструмент визуализации в экосистеме Python. Matplotlib поддерживает широкий спектр типов диаграмм: линейные графики, столбчатые диаграммы, круговые диаграммы, графики с областями и др. В разработанном приложении Matplotlib применяется для построения круговой диаграммы структуры выбросов и линейного графика динамики выбросов по месяцам. Интеграция с Tkinter выполнена через виджет FigureCanvasTkAgg, который позволяет встра-

ивать графику непосредственно в интерфейс приложения и обновлять её в реальном времени при изменении входных данных [3].

Для обработки табличных данных и выполнения аналитических операций задействована библиотека Pandas. Она предоставляет высокоуровневые структуры данных (DataFrame) и функции для фильтрации, агрегации, группировки и статистического анализа. В приложении Pandas используется для загрузки данных из JSON-файлов, преобразования их в удобный формат, расчета суммарных и средних показателей, а также для подготовки данных к визуализации. Благодаря Pandas реализована возможность экспорта результатов в форматы CSV и Excel для дальнейшего анализа в сторонних программах [4].

В качестве формата хранения данных выбран JSON (JavaScript Object Notation). JSON обеспечивает компактное и читаемое представление структурированных данных, что упрощает отладку и позволяет при необходимости вручную корректировать файлы с исходными данными. Для работы с JSON в Python используется стандартный модуль json, который обеспечивает сериализацию и десериализацию словарей и списков. Пример структуры файла данных:

```
{
  «2025-01-15»: {«электроэнергия»: 120.5, «газ»: 45.2, «отходы»: 1300},
  «2025-02-10»: {«электроэнергия»: 115.3, «газ»: 42.8, «отходы»: 1250}
}
```

Для реализации функции «что-если» разработан модуль сценарного моделирования, позволяющий пользователю задавать процентное изменение потребления по каждому ресурсу. Моделирование выполняется путём пропорционального пересчёта выбросов на основе введённых коэффициентов с использованием метода analyze_scenario(). Реализация основана на простом линейном прогнозировании, что достаточно для первичной оценки потенциала сокращения выбросов. В дальнейшем планируется расширение модуля с использованием методов машинного обучения (библиотека scikit-learn) для прогнозирования динамики выбросов на основе исторических данных [5].

Для проверки корректности работы программы проведено модульное и интеграционное тестирование. Модульное тестирование выполнено с использованием фреймворка unittest, входящего в стандартную библиотеку Python. Были проверены граничные случаи (нулевое потребление, отрицательные значения, отсутствие данных) и корректность расчётов по сравнению с эталонными значениями, полученными в электронных таблицах. Интеграционное тестирование подтвердило корректность взаимодействия между модулями ввода, расчёта и визуализации [6].

Для апробации работы приложения были использованы данные о потреблении ресурсов СКБЗ «Альбертин» за период с января по декабрь 2025 год (таблица).

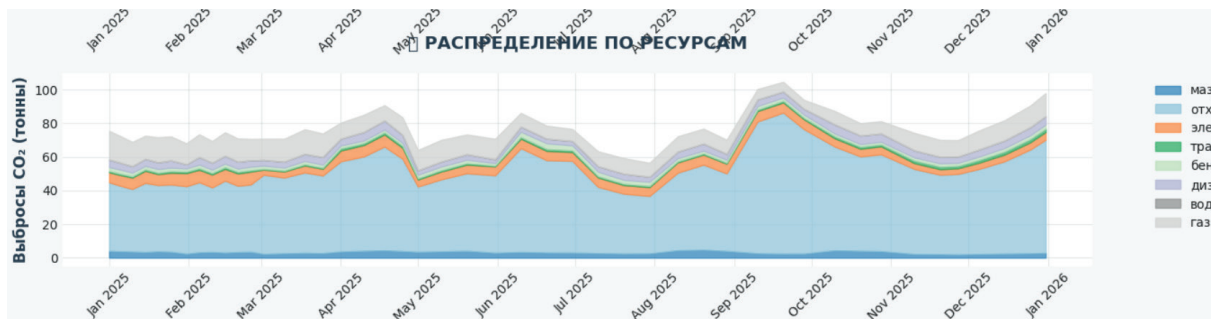
Исходные данные и результаты расчета углеродного следа СКБЗ «Альбертин»

Показатель	Ед. изм.	Объем потребления	Выбросы, т CO ₂ -экв	Доля, %
Отходы	т	15200	5868,1	68,4
Природный газ	тыс. м ³	500	1082,4	12,6
Электроэнергия	т	1400	647,3	7,5
Дизельное топливо(транспорт)	т	170	578	6,8
Бензин(транспорт)	т	90	287,1	3,2
Мазут(транспорт/резерв)	т	30	94,5	1,1
Прочий транспорт	–	–	36,6	0,4
Итого	–	–	8 578,4	100

Анализ результатов показал, что суммарный углеродный след предприятия за 2025 г. составил 8578,4 т CO₂-экв. Наибольший вклад в выбросы вносит обращение с отходами (5868,1 т CO₂-экв.; 68,4 %), что характерно для предприятий целлюлозно-бумажной промышленно-

сти. Потребление природного газа для производственных нужд и отопления является вторым по значимости источником (1082,4 т CO₂-экв.; 12,6 %). Распределение по категориям GHG Protocol: 76,7 % выбросов относятся к Score 1 (прямые выбросы от сжигания топлива и отходов), 7,5 % – к Score 2 (электроэнергия) и 15,8 % – к Score 3 (транспорт).

Анализ динамики выбросов (рисунок) выявил выраженную сезонность с максимумом в осенне-зимний период и минимумом в летний, что обусловлено увеличением потребления газа на отопление. Сезонные колебания достигают 40 % от среднемесячного значения, что подтверждает необходимость их учета.



Структура углеродного следа СКБЗ «Альбертин»

Разработанный программный комплекс позволяет автоматизировать расчет углеродного следа промышленного предприятия в соответствии с международными и национальными стандартами. Апробация на данных СКБЗ «Альбертин» подтвердила его работоспособность и позволила получить актуальные сведения о структуре и динамике выбросов парниковых газов. Доминирующий вклад обращения с отходами указывает на приоритетное направление для разработки мер по снижению углеродного следа. Комплекс может быть использован экологическими службами предприятий для мониторинга, анализа и подготовки отчетности.

Библиографические ссылки

1. GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. World Resources Institute, 2015.
2. ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. International Organization for Standardization, 2018.
3. Руководство по инвентаризации парниковых газов. Минск : БелНИИ «Экология», 2020.
4. Стратегия низкоуглеродного развития Республики Беларусь до 2050 года. Минск : Минприроды, 2021.
5. *Вандербильт К.* Python и анализ данных. М. : ДМК Пресс, 2020.
6. Python 3.11 Documentation. URL: 3.11.14 Documentation (дата обращения: 25.02.2026).
7. Tkinter 8.6 Reference: a GUI for Python. URL: TkDocs Home (дата обращения: 25.02.2026).
8. Matplotlib 3.8 Documentation. URL: Using Matplotlib – Matplotlib 3.10.8 documentation (дата обращения: 25.02.2026).
9. Pandas 2.2 Documentation. URL: pandas documentation – pandas 3.0.1 documentation (дата обращения: 25.02.2026).
10. Scikit-learn 1.5 Documentation. URL: scikit-learn: machine learning in Python – scikit-learn 1.8.0 documentation (дата обращения: 25.02.2026).
11. Unittest – Unit testing framework. URL: unittest. Unit testing framework. Python 3.14.3 documentation (дата обращения: 25.02.2026).

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ *HERACLÉUM SOSNÓWSKYI* И *SOLIDAGO CANADÉNSIS* НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

В. Н. Копиця¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1 220070, г. Минск, Беларусь, v_kapitsa@iseu.by

На основании данных об экологических особенностях наиболее распространенных видов инвазивных растений борщевика Сосновского (*Heracléum Sosnówskyi*) и золотарника канадского *Solidago canadensis* приводится анализ методик, которые могут быть использованы для проведения анализа воздействия инвазивных видов растений на плодородие почв. Показано, что для выполнения исследований могут быть использованы как традиционные (гостированные) методы, так и методы исследований, используемые в смежных областях науки и технологических процессов с использованием современного оборудования.

Ключевые слова: инвазивные виды; *Heracléum Sosnówskyi*; *Solidago canadensis*; почвы; методы анализа; органические вещества; фитотоксичность; уплотнение; кислотность почв; макроэлементы; химический состав.

METHODS OF ANALYSIS OF THE INVASIVE SPECIES *HERACLÉUM SOSNÓWSKYI* AND *SOLIDAGO CANADÉNSIS*'S IMPACT ON THE SOIL COVER

U. N. Kapitsa¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, v_kapitsa@iseu.by

Drawing on ecological data for the most common invasive plant species—Sosnowsky's hogweed (*Heracléum sosnowskyi*) and Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*)—this paper examines methods for assessing the impact of invasive plant species on soil fertility. It is demonstrated that both traditional (standardized) methods and methods adapted from related scientific and technological fields, employing modern equipment, are applicable to this research.

Keywords: invasive species; *Heracléum sosnowskyi*; *Solidago canadensis*; soils; analysis methods; organic matter; phytotoxicity; compaction; soil acidity; macronutrients; chemical composition.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-62-65>

Введение Инвазивные виды растений получили на сегодняшний день большое распространение на территории Республики Беларусь. Многие из них были интродуцированы как декоративные виды или хозяйственно-ценные объекты. Однако, по тем или иным причинам, потеряли свою хозяйственную значимость, или «убежали с грядки» за счет своей высокой семенной продуктивности. Наибольшее распространение получили травянистые виды *Heracléum Sosnówskyi* (представитель семейства зонтичные) и *Solidago canadensis* (семейство сложноцветные). В связи с их высокой распространенностью и агрессивностью эти виды привлекают повышенное внимание Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, а также других органов госуправления, в результате встал вопрос оценки реального

экологического вреда от распространения этих видов на землях сельскохозяйственного назначения, населенных пунктов и прочих, в частности, оценка воздействия на плодородие почв. Для выяснения поставленных вопросов была заявлена НИР в рамках ГПНИ «Рациональное природопользование» на 2026-2030 гг. подпрограмма «Биоразнообразие и биоресурсы» под названием «Оценить влияние инвазивных видов растений на плодородие и деградацию почв». Уточнение методик данной оценки является одним из вопросов планируемой НИР.

Объекты исследования. Борщевик Сосновского является многолетним травянистым растением из семейства Зонтичные. В середине XX века оно было завезено в различные районы нашей страны и культивировалось как силосное на корм скоту. Однако вскоре выяснилось, что молоко стало приобретать неприятный привкус, а коровы получали долго незаживающие ожоги. Поэтому от него решили отказаться, однако в местах его культивирования он стал постепенно дичать и образовывать плотные одновидовые заросли. За счёт высокой семенной продуктивности борщевика он стал активно распространяться и к концу 20 века был объявлен инвазивным видом, и со временем выяснилось, что он легко проникает в естественные экосистемы [1].

Образованию большой биомассы на месте произрастания и отсутствие выноса, как это наблюдается в полевых экосистемах, обеспечивает накопление растительных остатков в ареале обитания, что должно обеспечить накопление органики. О борщевике как сидерате практически нет информации, однако, на отдельных Интернет порталах, связанных с огородничеством и органическим земледелием упоминается, что ни один сидерат не даёт такого прироста зелёной массы, как борщевик, и заделка его в землю, сильно повышает плодородие. После него, в частности, отмечено возращание урожая картофеля [2].

Исследованиями Е. М. Лаптевой и коллег показано, что в биоклиматических условиях средней тайги продуктивность *H. sosnowskyi* в постагрогенных экосистемах составляет в расчёте на свежий растительный материал $103,6 \pm 27,8$ т/га надземных и $32,3 \pm 6,8$ т/га подземных органов (или соответственно $14,5 \pm 3,9$ и $7,7 \pm 1,6$ т/га сухой фитомассы). Внедрение *H. sosnowskyi* в постагрогенные экосистемы способствует сохранению и поддержанию почвенного плодородия за счёт ежегодного возврата с опадом значительных объёмов быстро минерализуемого растительного материала ($17,4$ т/га) [2].

Таким образом в почве возможна регистрация изменение содержания органических веществ, таких показателей его содержания, как общее количество С, N, P, K, изменение кислотности.

Высокая аллелопатическая активность борщевика Сосновского подавляет развитие других видов растений на площадке произрастания, обеспечивая доминирование вида на территории произрастания [3]. В таких местах, при проведении исследования, возможно изменение фитотоксичности почв.

Золотарник канадский, как представитель семейства сложноцветных, оказывает крайне негативное, агрессивное влияние на почву, изменяя ее структуру и состав. Он выделяет в грунт аллелопатические вещества, подавляющие рост других растений, уплотняет почву, снижая ее аэрацию, и уничтожает полезную почвенную микрофлору, что ведет к деградации экосистемы.

Основные аспекты влияния на почву:

1) аллелопатия (отравление почвы): Корневища золотарника выделяют токсичные вещества, близкие по действию к гербицидам. Эти вещества подавляют рост, прорастание семян и развитие любых других растений, включая травы и кустарники [5];

2) аналогично с борщевиком Сосновского предлагается использовать метод определения фитотоксичности почвы [4];

3) изменение структуры: Мощная корневая система делает почву плотной и жесткой. Это приводит к прекращению доступа воздуха (воздухообмена) к корням других растений, что способствует их гибели;

4) биологическое обеднение: В зарослях золотарника исчезают полезные почвенные бактерии, насекомые и микроорганизмы, что нарушает целостность экосистемы;

5) истощение: Несмотря на то, что он может расти на бедных почвах, в процессе экспансии он активно потребляет питательные вещества, вытесняя аборигенную флору.

Методы исследования. Содержание углерода ($C_{\text{общ}}$) и азота ($N_{\text{общ}}$) в пробах почв и растительном материале можно определять группой приборных физико-химических методов, таких как метод газовой хроматографии. Определение концентрации в растительных пробах кислоторастворимых форм Ca, Mg, K и P можно выполнить методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой [2]. Оба метода основаны на озолении проб почвы. В первом случае собирается вся газовая фракция, которая и используется для хроматографического определения. Во втором случае (атомно-эмиссионная спектроскопия) образец переводится в жидкую фазу (допустим, с применением метода Кьельдаля) которая распыляется в плазме спектрофотометра и по соответствующим спектрам проводится качественное и количественное определение [3].

Также можно использовать несколько методов для определения общего азота в почве, которые включают в себя химические и биологические методы [3].

Химические методы включают использование различных химических реакций, которые позволяют выделить азот из почвенного грунта. Один из таких методов – это метод Кьельдаля, который основан на использовании смеси концентрированной серной кислоты и пероксида водорода для выделения азота. Этот метод считается одним из наиболее точных и широко используется в лабораторных условиях [4].

Оценка фитотоксичности почвы:

Для оценки состояния почвы с точки зрения её фитотоксичности, то есть способности к подавлению роста и развития высших растений, проводится её биотестирование на прорастание семян кресс-салата [4].

Определение биологической активности почвы. Одним из наиболее доступных способов оценки биологической активности почв является установление их целлюлозолитической активности [4]. Данная методика подходит как для полевых, так и для лабораторных экспериментов. В ходе постановки данного эксперимента оценивается интенсивность степени разложения образцов льняной или хлопчатобумажной ткани в почвенном горизонте при различных условиях функционирования почв. При проведении эксперимента образцы ткани пришиваются к кусочкам полиэтиленовой плёнки или закрепляются на предметных стёклах и взвешиваются. Подготовленные образцы помещаются в анализируемые почвы в лабораторных условиях или размещаются в верхние почвенные горизонты на пробных площадках. Затем, по прошествии заданного времени (один – два месяца; лето) образцы извлекаются, просушиваются, очищаются от почвенных частиц и взвешиваются. На основании изменения веса образца (ткани) делается заключение об уровне активности микробной составляющей гумусового горизонта, как показателе степени преобразованности (нарушенности, загрязнённости) почвенного образца.

Измерение плотности почвы. Определение уровня уплотнения грунта производится с помощью:

Динамического плотномера (в соответствии с ТКП 45-5.01-107-2008). Щуп динамического плотномера заглубляется в почву под влиянием ударной нагрузки (гиря) на глубину до 30 см. Принцип проверки: плотномер погружается строго вертикально в грунт на 20 см, затем грузиком наносятся удары по буртику без прикладывания усилий с высоты 40 см до полного заглубления стержня. По числу ударов производят оценку плотности грунта [6].

Метод режущего кольца. Применяется в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик для всех грунтов достаточной влажности, кроме сыпучих и плывунов. Место отбора проб очи-

щается, прикладывается металлическое режущее кольцо и вдавливается в землю. Вырезается кольцо с грунтом, излишки зачищаются над торцами формы, которая после закрывается пластинами. Взвешивается влажная грунтовая масса вместе с формой и пластинами, затем образец высушивается в сушильном шкафу и определяется масса сухой почвы. Плотность рассчитывается по формуле:

$$\rho = (m_2 - m_0 - m_1) / V,$$

где V – объем кольца,
 m_0 – вес пустой формы,
 m_1 – масса пластин,
 m_2 – грунта.

Библиографические ссылки

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, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича. Минск : Беларуская навука, 2020. 407 с.
2. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо-Востока / Е. М. Лаптева [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 66–73.
3. Практикум по агрохимии : учеб. пособие для вузов / В. Г. Минеев [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. М. : МГУ, 2001. 689 с.
4. Экологический мониторинг: учеб. пособие для вузов / под ред. Т. Я. Ашихминой. Киров: Константа, 2006. 412 с.
5. Прохоров В. Н. Аллелопатический потенциал наиболее агрессивных инвазивных видов растений Беларуси / Национальная академия наук Беларуси, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича. Минск: Беларуская навука, 2025. 323 с.
6. ТКП 45-5.01-107-2008 «Грунтовые основания, уплотненные тяжелыми трамбовками. Правила проектирования и устройства», утвержденного приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 8 сентября 2008 г. № 303, Минск, 2008. 33 с.

РАЗМЕРНОСТИ МОДЕЛЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Е. Д. Кубрак¹⁾, П. А. Шалькевич¹⁾, И. А. Тавгень¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, lizabethptl@mail.ru

Рассматриваются размерности моделей миграции радионуклидов в водных экосистемах как значимый фактор, влияющий на прогностическую способность и вычислительную трудоемкость расчетов. Описана иерархия моделей: от камерных систем (0D) до пространственно-распределенных моделей (1D, 2D, 3D). Особое внимание уделено алгебраической и структурной размерностям. Описана роль выбора размерности при обеспечении баланса между детализацией описания процессов и вычислительными ресурсами.

Ключевые слова: феноменологические модели; миграция радионуклидов; пространственная размерность; алгебраическая размерность; структурная размерность.

DIMENSIONALITY OF RADIONUCLIDE MIGRATION MODELS IN AQUATIC ECOSYSTEMS

E. D. Kubrak¹⁾, P. A. Shalkevich¹⁾, I. A. Tavgen¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, lizabethptl@mail.ru

Dimensional aspects of radionuclide migration models in aquatic ecosystems are considered as a key factor influencing the predictive capability and computational complexity of calculations. A hierarchy of models ranging from compartmental systems (0D) to spatially distributed models (1D, 2D, 3D) is presented. Particular attention is paid to algebraic and structural dimensionality. The role of dimensionality selection in balancing process description detail and computational resource requirements is discussed.

Keywords: phenomenological models; radionuclide migration; spatial dimensionality; algebraic dimensionality; structural dimensionality.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-66-69>

Введение. Численное моделирование – это расчёт численных значений характеристик процесса, протекающего во времени, реализованный на основе вычислений математической модели этого процесса средствами электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Следовательно, численное моделирование подразумевает выполнение на ЭВМ большого числа вычислительных операций. Численные методы применяются как для решения задач моделирования на основе эмпирических моделей, так и на основе феноменологических [1].

Феноменологические модели представляют особый интерес, т.к. позволяют получить наиболее детальное описание физических процессов в водных экосистемах [2], однако их реализация сопряжена с определенными трудностями. В частности, для моделирования переноса радионуклидов в водном потоке необходимы входные данные о поле скоростей течений. При этом, если в модель включены механизмы переноса радионуклидов, включающие сорбцию на взвешенных веществах или миграцию с загрязненными донными отложениями, необходимо определить соответствующие скорости переноса активности для этих процессов.

Применение численных методов для решения задачи миграции радионуклидов в водных экосистемах, описываемых феноменологическими моделями, требует, как правило, использования значительных вычислительных ресурсов [3]. Объем требуемых ресурсов зависит от ряда факторов, одним из которых является размерность модели.

Пространственные размерности. Важно понимать, что в задачах моделирования миграции радионуклидов понятие размерности модели используется в нескольких смыслах, которые необходимо различать.

В первую очередь под размерностью понимают пространственную (геометрическую) размерность, определяемую числом координат, от которых зависит распределение концентрации радионуклида (0D, 1D, 2D или 3D), и именно этот смысл чаще всего применяется при классификации моделей переноса в водных экосистемах [4]. Наряду с этим в литературе может рассматриваться структурная размерность, связанная с числом учитываемых переменных состояния, обусловленных многокомпонентностью системы (растворённая форма, взвеси, донные отложения, биота, различные радионуклиды) [5].

Кроме того, при численной реализации модели вводят алгебраическую размерность, понимаемую как размер системы дискретизированных уравнений, зависящий от числа узлов расчётной сетки и количества моделируемых компонентов [6]. Таким образом, термин «размерность модели» является контекстно-зависимым, однако в инженерных и радиоэкологических задачах переноса он преимущественно относится именно к пространственной размерности области моделирования.

Приведем используемые в задачах моделирования миграции радионуклидов в водных экосистемах размерности и их характеристики в таблице.

Размерности феноменологических моделей миграции радионуклидов

Размерность	Описание	Пример использования
Нульмерные модели (0D-модели)	Масса радионуклида распределяется равномерно по всему объему	Небольшие озера, пруды-охладители, долгосрочные прогнозы (десятилетия) для крупных водоемов, когда детали распределения нивелируются
Одномерные модели (1D-модели)	Рассматривают движение радионуклида вдоль одного направления потока воды	Моделирование миграции по течению реки
Двумерные модели (2D-модели).	Учитывают распределение по длине и ширине	Распространение в озере или водоеме с сложной геометрией
Трёхмерные модели (3D-модели)	Включают вертикальное распределение и перенос	Глубинные слои океана или водохранилищ

0D-модель (модель нулевой размерности, также известная как камерная или боксовая модель) – это наиболее упрощенный тип математического моделирования, в котором исследуемый объект представляется как единый резервуар с мгновенным и полным перемешиванием [1]. Несмотря на высокую степень схематизации физических процессов, камерные модели остаются эффективным инструментом для оперативной оценки радиационной обстановки в замкнутых или слабопроточных водоемах, а также для долгосрочного прогнозирования динамики загрязнения на макроуровне. Однако их применение ограничено случаями, где детальное описание структуры поля скоростей и локальных градиентов концентраций не является приоритетным, что подчеркивает иерархическую дистанцию между упрощенными боксовыми схемами и полномасштабными феноменологическими моделями высших размерностей [7].

Одномерные модели (1D-модели). Модели этого типа описывают динамику моделируемых характеристик вдоль одной пространственной оси (X, Y или Z). Такие модели используются для описания переноса радионуклидов, как правило, в глубину почвы [7].

Двумерные модели (2D-модели). Модели этого типа описывают динамику моделируемых характеристик в одной пространственной плоскости (XY, XZ или YZ). Они используются для описания миграции радионуклидов в прибрежных зонах, водохранилищах, малых озерах, речных руслах и поймах вблизи источников сброса или участков значительного загрязнения донных отложений. По сравнению с первыми двумя типами моделей, здесь становится возможным детальный учет взаимодействия с донными отложениями через площадь загрязнения радионуклидами [8].

Трёхмерные модели (3D-модели). Модели этого типа описывают динамику моделируемых характеристик в определённой области трёхмерного пространства. Трёхмерные модели требуют наибольших вычислительных ресурсов и объёма входных данных по сравнению с первыми тремя типами. Эти модели используются для моделирования течений [9]. Таким образом, размерность имитационных моделей миграции радионуклидов может варьироваться от 0D до 3D в зависимости от требований к точности и доступных ресурсов. Чем выше размерность, тем сложнее процесс моделирования в реализации.

Алгебраическая размерность. Алгебраическая размерность является аналитическим базисом для установления структурных связей между физико-химическими параметрами водной среды и динамикой распространения загрязнения. Через формализацию размерностей фундаментальных величин – коэффициентов диффузии, скоростей сорбционного обмена и гидродинамической дисперсии – обеспечивается возможность перехода к безразмерным критериям подобия, определяющим преобладающие механизмы массопереноса в гидросфере. Данный подход позволяет верифицировать расчетные модели на предмет размерной однородности и синтезировать обобщенные зависимости, связывающие пространственные масштабы загрязнения с временными интервалами миграции. В конечном итоге, анализ алгебраической размерности миграционных процессов выступает необходимым условием для корректной экстраполяции локальных данных на масштабы целых речных бассейнов или водоносных горизонтов [5].

Структурная размерность. При миграции радионуклидов в водной среде структурная размерность является фундаментальной характеристикой, определяющей пространственно-временную топологию распространения загрязнения в гидросфере. В отличие от классического евклидова представления, структурная размерность может быть представлена в парадигме, описывающей неклассическую геометрию путей переноса с учетом гетерогенности среды: от одномерной адвекции в русловых потоках до фрактальной диффузии в сложноорганизованных пористых структурах и трещиноватых водоносных горизонтах. Параметр структурной размерности позволяет интегрировать в математическую модель такие факторы, как извилистость фильтрационных каналов, турбулентное перемешивание и масштабную зависимость коэффициентов дисперсии. Адекватная оценка этой размерности критически важна для перехода от идеализированных расчетных схем к прогнозному моделированию реальных экосистем, так как она определяет скорость «прорыва» радионуклидов к точкам водопользования и их распределение между водной фазой и донными отложениями [5].

Заключение. Выполненный анализ показал, что численное моделирование миграции радионуклидов в водных экосистемах основывается на использовании феноменологических моделей, обеспечивающих физически обоснованное описание процессов переноса, трансформации и перераспределения загрязнения. При этом ключевым фактором, определяющим сложность и вычислительную трудоёмкость моделирования, выступает размерность модели, которая проявляется в пространственном, структурном и алгебраическом аспектах. Установлено, что выбор пространственной размерности (от 0D до 3D) определяется требуемой дета-

лизацией описания гидродинамических и геохимических процессов, а также доступностью исходных данных и вычислительных ресурсов. Упрощённые модели позволяют получать интегральные оценки загрязнения, тогда как многомерные постановки обеспечивают более адекватное воспроизведение пространственно-временной динамики переноса радионуклидов. Дополнительно структурная и алгебраическая размерности играют важную роль при формировании многокомпонентных моделей, анализе доминирующих механизмов массопереноса и корректной численной реализации. Таким образом, эффективное моделирование миграции радионуклидов требует согласованного выбора типа модели и её размерности, что обеспечивает баланс между физической достоверностью результатов, вычислительной реализуемостью и прогностической ценностью получаемых оценок.

Библиографические ссылки

1. *Абраменко А. А., Дорожко С. В.* Численные методы и программирование в экологических исследованиях // Минск : БНТУ, 2019. 186 с.
2. *Борисевич Н. Н., Дорожко С. В.* Математическое моделирование переноса примесей в поверхностных водах: от эмпирических зависимостей к феноменологическому описанию // Природные ресурсы. 2020. № 1. С. 92–101.
3. *Никитенко А. Н., Гулин В. П.* Вычислительные технологии в задачах прогнозирования радиационного состояния водных объектов // Экологический вестник. 2022. № 3 (61). С. 74–82.
4. *Крылов А. Л., Носов А. В.* Расчетные коды для оценки радиационных последствий радиоактивных сбросов в поверхностные воды // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 104–114.
5. *Никитин А. И., Крышев И. И., Крышев А. И.* Математическое моделирование процессов миграции радионуклидов в водных объектах: принципы построения и верификации моделей // Труды Института экспериментальной метеорологии / НПО «Тайфун». 2022. Вып. 31 (210). С. 15–34.
6. *Белоцерковский О. М., Опарин А. М.* Численное моделирование в задачах экологического мониторинга – 2-е изд. Москва : Наука, 2016. 232 с.
7. *Кундас С. П.* Математическая модель миграции радионуклидов в почве // Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. 2005. № 3. С. 56–60.
8. *Skouras E.* Modelling Radionuclide Transport in Water Systems // Journal of Environmental Radioactivity. 2019 .
9. *Павловский Ю. Н., Белотелов Н. В., Бродский Ю. И.* Имитационное моделирование. М.: Изд. центр «Академия», 2008. 312 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ СОБЫТИЙ ФОТОЛОВУШЕК И ФОРМИРОВАНИЕ ВОСПРОИЗВОДИМОЙ СТАТИСТИКИ НАБЛЮДЕНИЙ КРУПНЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Л. В. Кулагина¹⁾, Е. Ю. Станькова¹⁾, М. А. Науменко²⁾

¹⁾ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», ул. Киренского, 26, 660074, г. Красноярск, Россия, klvation@gmail.com

²⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, 634050, г. Томск, Россия, naumenko3301@gmail.com

Представлены результаты апробации подхода к автоматизированной интерпретации данных фотоловушек, ориентированного на распознавание не отдельных файлов, а событийных серий наблюдений. Исследование выполнено на материале трех локаций национального парка «Красноярские Столбы» за 2022–2024 гг.; объем исходного архива составил 157 546 фотографий. Для классификации использован AI-модуль на основе CLIP с few-shot адаптацией и агрегацией предсказаний на уровне серии. На тестовой выборке достигнута общая точность 98,5 %. На основе автоматически интерпретированных серий сформирована воспроизводимая база наблюдений, пригодная для анализа видового состава, сезонной, суточной и пространственной структуры регистраций.

Ключевые слова: фотоловушки; CLIP; контрастивное обучение; событийные серии; автоматическая классификация; экологический мониторинг.

AUTOMATED RECOGNITION OF CAMERA-TRAP EVENTS AND FORMATION OF REPRODUCIBLE OBSERVATION STATISTICS FOR LARGE MAMMALS

L. V. Kulagina¹⁾, E. Yu. Stankova¹⁾, M. A. Naumenko²⁾

¹⁾ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Kirensky St., 26, 660074, Krasnoyarsk, Russia, ek-stankova@mail.ru

²⁾ National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave., 30, 634050, Tomsk, Russia, naumenko3301@gmail.com

The paper presents the results of testing an approach to automated interpretation of camera-trap data based on event series rather than on individual files. The study used materials from three locations within Krasnoyarsk Stolby National Park collected in 2022–2024; the source archive comprised 157,546 photographs. Classification was performed by a CLIP-based AI module with few-shot adaptation and series-level aggregation. On the test set, the overall accuracy reached 98.5%. The automatically interpreted series were transformed into a reproducible observation database suitable for analyzing species composition, as well as seasonal, diel, and spatial patterns of detections.

Keywords: camera traps; CLIP; contrastive learning; event series; automated classification; ecological monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-70-74>

Фотомониторинг крупных млекопитающих на особо охраняемых природных территориях позволяет получать данные о видовом составе, режиме активности и пространственной структуре регистраций, однако по мере накопления архивов фотоловушек центральной проблемой становится первичная обработка больших массивов изображений [1–3]. Для многолетних се-

рий наблюдений ручная сортировка файлов оказывается трудоемкой, слабо воспроизводимой и плохо масштабируется при расширении сети камер.

В этой связи особую значимость приобретает автоматизированное распознавание визуальных данных, способное переводить сырые медиафайлы в структурированную таблицу наблюдений. Для решения подобных задач в последние годы активно используются мультимодальные модели, в том числе CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training), обеспечивающие сопоставление визуальных и текстовых представлений. При ограниченной разметке перспективным является few-shot подход, при котором модель адаптируется к предметной области с помощью небольшого числа эталонных примеров [4]. Цель работы – представить итоговый результат апробации событийного подхода к автоматизированной интерпретации данных фотоловушек и показать его пригодность для формирования воспроизводимой статистики наблюдений крупных млекопитающих на примере национального парка «Красноярские Столбы».

Исследование выполнено по материалам трех точек фотомониторинга национального парка «Красноярские Столбы» за 2022–2024 гг. Совокупный массив исходных данных включал 157 546 фотографий. В качестве целевых классов рассматривались «медведь», «марал» и «пустая сцена»; категория «человек» использовалась как служебная для диагностики и фильтрации технических событий. Принципиальным методическим решением являлся переход от анализа отдельных кадров к анализу событийных серий. Серия формировалась как последовательность файлов, относящихся к одному эпизоду срабатывания фотоловушки. Такой уровень агрегации позволяет уменьшить влияние шумовых кадров, частично закрытых объектов и единичных изображений с низкой информативностью. После извлечения временных меток и контроля качества данные переводились в набор серий, пригодных для последующей автоматической интерпретации. Для классификации использован AI-модуль на основе CLIP с few-shot адаптацией через визуальные прототипы классов и серийной агрегацией предсказаний. Разработанный конвейер обеспечивает переход от сырых медиафайлов к табличной базе событийных серий. Качество решения оценивалось по тестовой выборке размеченных серий, а практическая значимость – по возможности дальнейшего анализа итоговой базы наблюдений.

Первичная проверка метаданных показала, что доля файлов с отсутствующей или некорректной временной меткой составляет около 1 % от общего массива изображений. После исключения проблемных файлов оставшаяся часть данных была преобразована в событийные серии, что создало основу для дальнейшей AI-интерпретации. Тем самым уже на предварительном этапе была обеспечена воспроизводимая единица анализа, сопоставимая с реальным эпизодом регистрации животного. Примеры распределения вероятностей классов для отдельных событийных серий подтверждают содержательную интерпретируемость предсказаний модели (рис. 1).

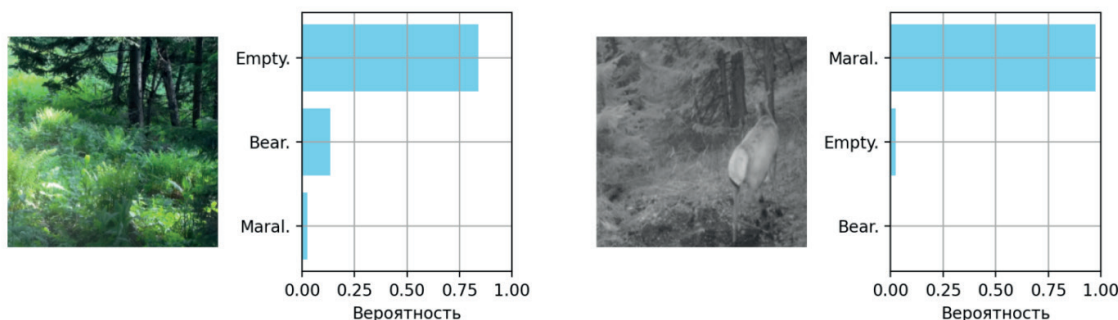


Рис. 1. Примеры распределения вероятностей классов при автоматической классификации событийных серий фотоловушек

Для количественной оценки качества AI-модуля была сформирована тестовая выборка из 67 вручную размеченных событийных серий: 20 серий класса «пустая сцена», 25 серий класса «марал» и 22 серии класса «медведь». Из 67 серий корректно классифицированы 66, что соответствует общей точности 98,5 % (рис. 2). Для классов «марал» и «пустая сцена» достигнута точность 100 %, для класса «медведь» – 95,5 %.



Рис. 2. Общая точность и точность по классам

Полученный результат имеет принципиальное значение для прикладного мониторинга, поскольку демонстрирует, что наибольший риск связан не со спутыванием целевых видов между собой, а с единичным пропуском факта присутствия животного. Следовательно, событийный подход в сочетании с серийной агрегацией обеспечивает достаточную надежность для первичной фильтрации материалов фотоловушек и последующего экспертного контроля ограниченного числа сомнительных случаев. Практическая ценность разработанного подхода проявляется не только в высокой точности классификации, но и в характере конечного выходного продукта. На основе автоматически интерпретированных серий сформирована итоговая база наблюдений, содержащая 2556 событий для целевых животных: 2431 регистрацию марала и 125 регистраций медведя. Дополнительно в базе присутствовали служебные категории «пусто» (59 событий) и «человек» (30 событий), использованные для контроля качества и очистки аналитического контура данных (рис. 3, а).

Сформированная база сделала возможным переход к пространственной интерпретации результатов. По трем точкам наблюдения зарегистрированы сопоставимые, но различающиеся значения общего числа обнаружений: 881, 865 и 810 событий соответственно (рис. 3, б). Такая структура указывает на различия локальных условий наблюдения и одновременно подтверждает, что AI-выход может быть корректно связан с географической привязкой фотоловушек. Тем самым автоматическое распознавание выступает не как изолированная инженерная процедура, а как инструмент формирования аналитически пригодного слоя. Дополнительным достоинством предложенного подхода является повышение сопоставимости результатов мониторинга при накоплении многолетних массивов наблюдений. Использование единых правил событийной агрегации и автоматической классификации снижает зависимость итоговой интерпретации от субъективных различий между операторами при ручной разметке, что особенно важно при работе с большими архивами фотоловушек. В практическом отношении это создаёт основу для последующего сопоставления данных между сезонами, отдельными участками наблюдений и различными временными интервалами, а также повышает воспроизводимость выводов, получаемых на базе сформированной статистики регистраций.

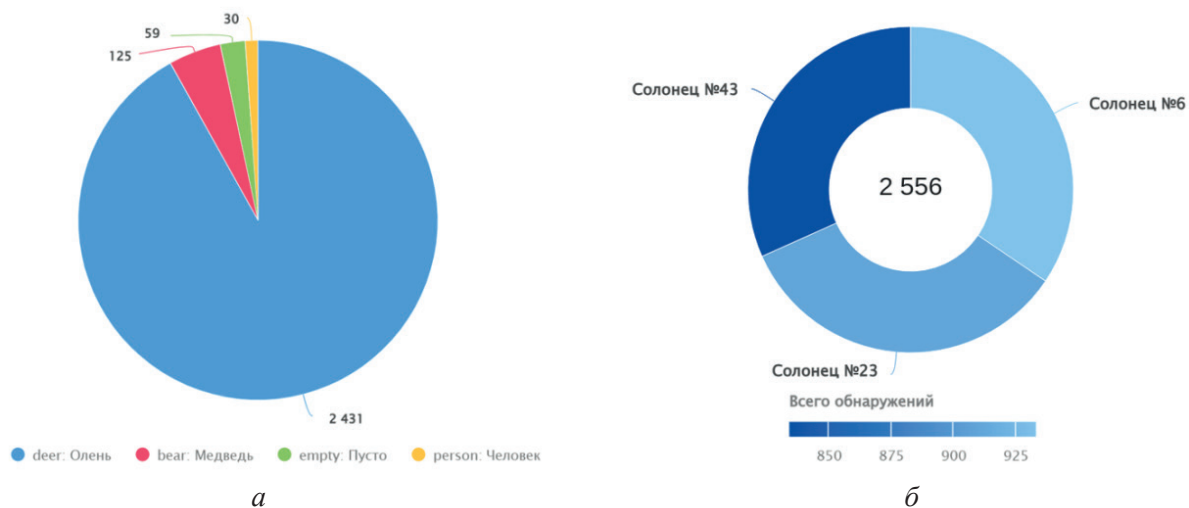


Рис. 3. Структура итоговой базы наблюдений: а – распределение событий по видам и служебным категориям; б – распределение общего числа обнаружений по точкам наблюдения

Для пространственного обобщения результатов автоматической обработки была построена тепловая карта распределения зарегистрированных событий наблюдения. Представленная карта отражает не плотность обитания животных, а пространственную неоднородность регистраций, зафиксированных фотоловушками. Поэтому полученные результаты корректнее интерпретировать как статистику регистраций и пространственно-временные паттерны наблюдаемости, а не как строгую оценку плотности обитания. Дополнительным результатом исследования стало создание дашборда Yandex DataLens (рис. 5), в котором результаты автоматической обработки были представлены в виде взаимосвязанных графиков и сводных показателей [5]. Тем самым итог исследования был представлен не только как классифицированная база событий, но и как инструмент их наглядной пространственно-временной интерпретации.

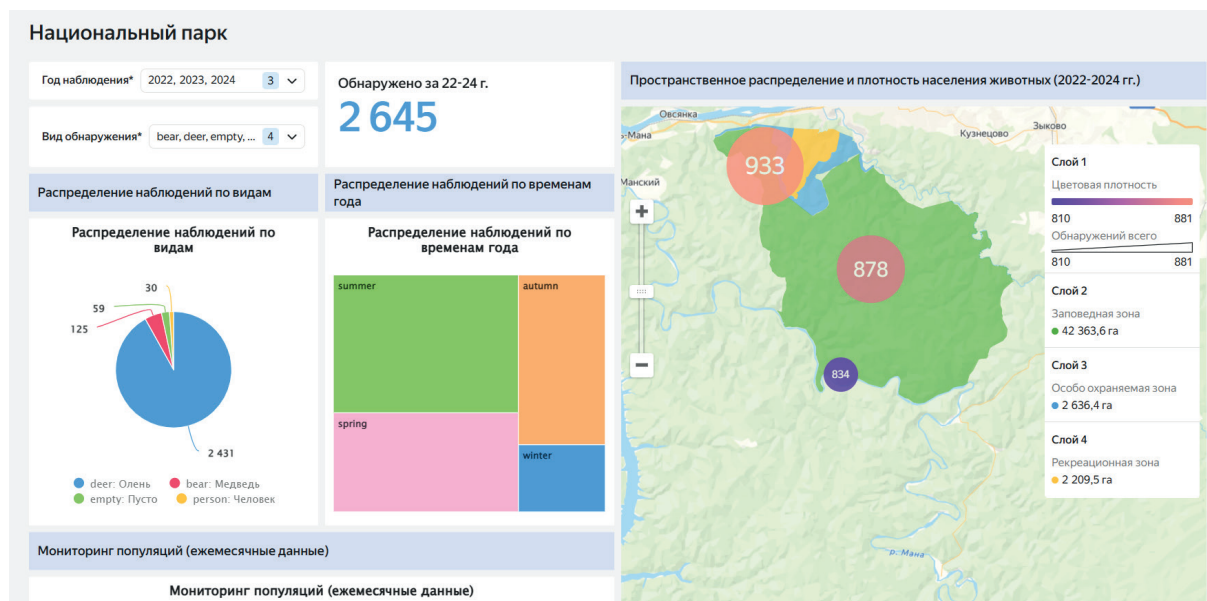


Рис. 4. Дашборд Yandex DataLens для анализа результатов фотомониторинга (2022–2024 гг.)

В данном исследовании показано, что автоматизированная интерпретация данных фотоловушек на уровне событийных серий обеспечивает надёжное распознавание целевых объектов

мониторинга в реальных полевых условиях. Основным итогом исследования стало формирование воспроизводимой базы наблюдений, что позволяет использовать событийное AI-распознавание как практический инструмент первичной обработки архивов фотоловушек и основу для дальнейшего экологического мониторинга [6–7].

Библиографические ссылки

1. *Огурцов С. С.* Обзор программного обеспечения для обработки и анализа данных с фотоловушек: последние новинки, работа с видео и ГИС // *Nature Conservation Research. Заповедная наука.* 2019. Т. 4, № 2. С. 95–124.

2. *Norouzzadeh M. S., Nguyen A., Kosmala M., et. al.* Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2018. Vol. 115, iss. 25. P. E5716–E5725.

3. *O'Connell A. F., Nichols J. D., Karanth K. U. (eds.).* *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses.* Tokyo : Springer, 2011.

4. *Tian Y., Wang Y., Krishnan D. et. al.* Rethinking few-shot image classification: a good embedding is all you need? arXiv:2003.11539, 2020.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025668989 Российская Федерация. Программный комплекс для классификации видов животных по данным дистанционного мониторинга (фотоловушек) : заявл. 20.06.2025 : опубл. 21.07.2025 / Л. В. Кулагина, М. А. Науменко, Е. Ю. Станькова ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». EDN ATKXHE.

6. *Кулагина Т. А., Кулагина Л. В.* Теоретические основы защиты окружающей среды: Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2017. 364 с. ISBN 978-5-7638-3678-3. EDN QYEVVM.

7. *Кулагина Л. В., Шефер Э. А., Кубик Н. Р.* Система дистанционного мониторинга на основе машинного зрения для удаленного технологического оборудования гидроэлектростанции // *Справочник. Инженерный журнал* / 2026. № 1(346). С. 51-56. DOI 10.14489/hb.2026.01.pp.051-056. EDN HPRODF.

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА КОРРЕЛЯЦИИ СОПРЯЖЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

С. А. Лаптёнок¹⁾, О. И. Родькин¹⁾, А. А. Кологривко²⁾,
Б. Э. Малишевская¹⁾, М. С. Конопацкая¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты оценки значимости влияния некоторых геоэкологических факторов на состояние здоровья населения на основе территориальной категоризации и комплекса методов анализа корреляции сопряженных признаков.

Ключевые слова: геоэкологические факторы; состояние здоровья населения; пространственная категоризация; таблицы сопряженности; корреляция сопряженных признаков.

ASSESSMENT OF THE SIGNIFICANCE OF THE INFLUENCE OF CERTAIN GEOECOLOGICAL FACTORS ON THE HEALTH OF THE POPULATION USING CORRELATION ANALYSIS OF CONJOINT FEATURES

S. Lapyonok¹⁾, O. Rodzkin¹⁾, A. Kologrivko²⁾,
B. Malishevskaya¹⁾, V. Konopatskaya¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru

²⁾ Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus

The article presents the results of assessing the significance of the influence of certain geoecological factors on the population health based on territorial categorization and a set of methods for correlation analysis of conjoint features.

Keywords: geoecological factors; population health; spatial categorization; contingency tables; correlation of conjoint features.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-75-80>

Для количественной оценки значимости влияния геофизических факторов, действующих в зонах линеаментов земной коры, и фактора загрязнения территории радионуклидами на уровень заболеваемости населения злокачественными новообразованиями в данном исследовании использовались методы обработки категоризованных данных, основанные на различных алгоритмах расчета корреляции сопряженных признаков [1–7]. Данные алгоритмы применяются при анализе насыщенных моделей данных качественного характера, представляющих собой так называемые таблицы сопряженности.

Для уровней интенсивных показателей заболеваемости в населенных пунктах при различных сочетаниях исследуемых факторов такие модели были построены по схеме, представленной в табл. 1. Здесь категория A_1 означает населенные пункты, расположенные вне зоны Украинско-Балтийского линеамента, категория A_2 – населенные пункты, расположенные в зоне над

Украинско-Балтийским линеаментом, а категория A_3 – населенные пункты, расположенные над разломами, образующими Украинско-Балтийский линеамент; категория B_1 означает населенные пункты, расположенные на территориях, не загрязненных ^{137}Cs , B_2 – на загрязненных ^{137}Cs территориях (см. табл. 1). Категории соответствуют результатам пространственной категоризации данных, полученным в предыдущих исследованиях [8].

Собственно модели для всего периода наблюдения и для отдельных подпериодов представлены в табл. 2-7.

Таблица 1

Сопряженность для интенсивных показателей по категориям

	B_1	B_2
A_1	200	202
A_2	101	102
A_3	111	112

Таблица 2

Сопряженность для интенсивных показателей за период с 01.01.1953 по 31.12.2003

	B_1	B_2
A_1	6338,09	4446,71
A_2	5405,41	6373,88
A_3	4725,38	7692,31

Таблица 3

Таблица сопряженности для интенсивных показателей за период с 01.01.1953 г. по 31.12.1964 г.

	B_1	B_2
A_1	80,66	0
A_2	53,79	138,73
A_3	529,10	0

Таблица 4

Таблица сопряженности для интенсивных показателей за период с 01.01.1965 г. по 31.12.1974 г.

	B_1	B_2
A_1	143,83	48,34
A_2	97,87	181,10
A_3	142,42	510,20

Таблица 5

Таблица сопряженности для интенсивных показателей за период с 01.01.1975 г. по 30.06.1984 г.

	B_1	B_2
A_1	381,42	270,35
A_2	201,92	417,00
A_3	261,10	0

Таблица 6

Таблица сопряженности для интенсивных показателей за период с 01.07.1984 г. по 30.06.1994 г.

	B_1	B_2
A_1	2948,56	2440,03
A_2	2329,62	2890,17
A_3	2562,25	75000,00

Таблица сопряженности для интенсивных показателей за период с 01.07.1994 г. по 31.12.2003 г.

Таблица 7

	B_1	B_2
A_1	3350,70	2926,33
A_2	6087,82	311,18
A_3	2599,92	8108,11

В качестве первичной оценки значимости влияния геофизических факторов, действующих в зонах линеаментов земной коры, и фактора загрязнения территории радионуклидами на уровень заболеваемости населения злокачественными новообразованиями для таблиц 2–7 был осуществлен расчет отношений значений в каждой ячейке таблицы сопряженности к среднему по ансамблю всех значений в таблице. В табл. 8–13 представлены относительные показатели для различных периодов наблюдения с указанием среднего по ансамблю.

В указанных таблицах приведены данные по всем категориям населенных пунктов, в том числе с нулевыми значениями показателей, для сохранения размерности и симметричности

моделей. С аналогичной целью в таблицах приведены также данные по категории 112, численность населенных пунктов в которой невелика, а малочисленность населения и единичные случаи заболевания не позволяют сделать достоверных заключений об уровне заболеваемости (кроме всего периода наблюдения в целом).

Результаты, представленные в табл. 8–13, характеризуются значительной мозаичностью и не позволяют выявить каких-либо значительных закономерностей влияния геоэкологических факторов на формирование уровня заболеваемости. Тем не менее они позволяют констатировать, что относительный показатель для категории A_1B_2 (202) очевидно выше в период с 01.07.1984 г. по 31.12.2003 г. (табл. 12–13), чем в период с 01.10.1965 г. по 30.06.1984 г. (табл. 10–11). Это может свидетельствовать об определенном вкладе фактора радионуклидного загрязнения территории в повышение уровня заболеваемости.

Таблица 8

Таблица 9

Интенсивные показатели, отнесенные к среднему по ансамблю за период с 01.01.1953 г. по 31.12.2003 г.

Интенсивные показатели, отнесенные к среднему по ансамблю за период с 01.01.1953 г. по 31.12.1964 г.

	B_1	B_2
A_1	1,0215	0,7167
A_2	0,8712	1,0273
A_3	0,7616	1,2398

	B_1	B_2
A_1	0,9466	0
A_2	0,6313	1,6281
A_3	6,2094	0

Таблица 10

Таблица 11

Интенсивные показатели, отнесенные к среднему по ансамблю за период с 01.01.1965 г. по 31.12.1974 г.

Интенсивные показатели, отнесенные к среднему по ансамблю за период с 01.01.1975 г. по 30.06.1984 г.

	B_1	B_2
A_1	1,0077	0,3387
A_2	0,6857	1,2688
A_3	0,9978	3,5746

	B_1	B_2
A_1	1,0302	0,7302
A_2	0,5454	1,1263
A_3	0,7052	0

Таблица 12

Таблица 13

Интенсивные показатели, отнесенные к среднему по ансамблю за период с 01.07.1984 г. по 30.06.1994 г.

Интенсивные показатели, отнесенные к среднему по ансамблю за период с 01.07.1994 г. по 31.12.2003 г.

	B_1	B_2
A_1	1,0157	0,8405
A_2	0,8025	0,9955
A_3	0,8826	25,8345

	B_1	B_2
A_1	1,0893	0,9513
A_2	1,9790	0,1012
A_3	0,8452	2,6358

Обращает на себя внимание также резкое уменьшение относительного показателя для категории A_2B_2 (102) по сравнению с категорией A_2B_1 (101) в период с 01.07.1994 г. по 31.12.2003 г. (табл. 13), который хорошо согласуется с ранее сделанными заключениями о том, что фактор присутствия ^{137}Cs на территориях, расположенных над УБЛ, обуславливает определенное снижение уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями. Тем более, что значения относительного показателя для категории A_2B_2 (102) до аварии на ЧАЭС больше 1, т.е. выше среднего по ансамблю (табл. 9–11), а после аварии – меньше 1, то есть ниже среднего по ансамблю (табл. 12, 13).

Для повышения точности первичной оценки значимости влияния геофизических факторов, действующих в зонах линейных элементов земной коры, и фактора загрязнения территории радионуклидами на уровень заболеваемости населения злокачественными новообразованиями,

произведенной выше, осуществлялся расчет логарифмов преобладания (логитов) для каждого из изолированных и комбинированных факторов [1; 7]. В табл. 14–19 представлены расчетные значения для различных периодов наблюдения. Наиболее информативным контрольным показателем в таблицах являются значения $1-e^{\lambda}$, знак и абсолютное значение которых указывают на характер и значимость влияния каждого фактора (изолированного или комбинированного) на исследуемый процесс.

Таблица 14

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.01.1953 г. по 31.12.2003 г.

Фактор	λ	e^{λ}	$1-e^{\lambda}$
A ₁	-0,019	0,981	-0,019
A ₂	0,003	1,003	0,003
A ₃	0,015	1,015	0,015
B ₁	-0,014	0,986	-0,014
B ₂	0,014	1,014	0,014
A ₁ B ₁	0,055	1,057	0,057
A ₁ B ₂	-0,055	0,946	-0,054
A ₂ B ₁	-0,007	0,993	-0,007
A ₂ B ₂	0,007	1,007	0,007
A ₃ B ₁	-0,049	0,953	-0,047
A ₃ B ₂	0,049	1,050	0,050

Таблица 15

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.01.1953 г. по 31.12.1964 г.

Фактор	λ	e^{λ}	$1-e^{\lambda}$
A ₁	-0,150	0,861	-0,139
A ₂	-0,030	0,971	-0,029
A ₃	0,179	1,196	0,196
B ₁	0,142	1,153	0,153
B ₂	-0,142	0,867	-0,133
A ₁ B ₁	-0,051	0,951	-0,049
A ₁ B ₂	0,051	1,052	0,052
A ₂ B ₁	-0,228	0,796	-0,204
A ₂ B ₂	0,228	1,256	0,256
A ₃ B ₁	0,278	1,321	0,321
A ₃ B ₂	-0,278	0,757	-0,243

Таблица 16

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.01.1965 г. по 31.12.1974 г.

Фактор	λ	e^{λ}	$1-e^{\lambda}$
A ₁	-0,115	0,891	-0,109
A ₂	-0,050	0,951	-0,049
A ₃	0,166	1,180	0,180
B ₁	-0,066	0,937	-0,063
B ₂	0,066	1,068	0,068
A ₁ B ₁	0,138	1,148	0,148
A ₁ B ₂	-0,138	0,871	-0,129
A ₂ B ₁	0,006	1,006	0,006
A ₂ B ₂	-0,006	0,994	-0,006
A ₃ B ₁	-0,144	0,865	-0,135
A ₃ B ₂	0,144	1,155	0,155

Таблица 17

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.01.1975 г. по 30.06.1984 г.

Фактор	λ	e^{λ}	$1-e^{\lambda}$
A ₁	0,075	1,078	0,078
A ₂	0,056	1,058	0,058
A ₃	-0,131	0,877	-0,123
B ₁	0,032	1,033	0,033
B ₂	-0,032	0,968	-0,032
A ₁ B ₁	0,018	1,019	0,019
A ₁ B ₂	-0,018	0,982	-0,018
A ₂ B ₁	-0,133	0,876	-0,124
A ₂ B ₂	0,133	1,142	0,142
A ₃ B ₁	0,114	1,121	0,121
A ₃ B ₂	-0,114	0,892	-0,108

Значение $1-e^{\lambda}$ для фактора A₂B₂ (загрязнение территории над УБЛ радионуклидами ¹³⁷Cs) за весь период наблюдения практически равно нулю (табл. 15). В период с 01.07.1984 г. по 31.12.2003 г. данный параметр имеет значимо отрицательные значения (табл. 18, 19), в то время как в период с 01.01.1953 г. по 30.06.1984 г. – значимо отрицательные либо практически равные нулю (табл. 15–17). Следовательно, фактор радионуклидного загрязнения обуславливает определенное снижение уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями в населенных пунктах, расположенных в зоне над Украинско-Балтийским линеаментом.

Таблица 18

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.07.1984 г. по 30.06.1994 г.

Фактор	λ	e^λ	$1-e^\lambda$
A ₁	-0,155	0,857	-0,143
A ₂	-0,156	0,855	-0,145
A ₃	0,311	1,365	0,365
B ₁	-0,156	0,855	-0,145
B ₂	0,156	1,169	0,169
A ₁ B ₁	0,162	1,176	0,176
A ₁ B ₂	-0,162	0,851	-0,149
A ₂ B ₁	0,150	1,162	0,162
A ₂ B ₂	-0,150	0,860	-0,140
A ₃ B ₁	-0,312	0,732	-0,268
A ₃ B ₂	0,312	1,366	0,366

Таблица 19

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.07.1994 г. по 31.12.2003 г.

Фактор	λ	e^λ	$1-e^\lambda$
A ₁	-0,037	0,964	-0,036
A ₂	-0,052	0,949	-0,051
A ₃	0,089	1,093	0,093
B ₁	0,016	1,016	0,016
B ₂	-0,016	0,984	-0,016
A ₁ B ₁	-0,002	0,998	-0,002
A ₁ B ₂	0,002	1,002	0,002
A ₂ B ₁	0,181	1,198	0,198
A ₂ B ₂	-0,181	0,835	-0,165
A ₃ B ₁	-0,179	0,836	-0,164
A ₃ B ₂	0,179	1,196	0,196

В целях контроля качества и уточнения оценок значимости влияния геофизических факторов, действующих в зонах линеаментов земной коры, и фактора загрязнения территории радионуклидами на уровень заболеваемости населения злокачественными новообразованиями, произведенных выше, был реализован расчет относительных показателей для комбинированных факторов методом приращения информации [1; 7]. В табл. 20–25 представлены расчетные значения для различных периодов наблюдения. Информативным показателем в таблицах являются отличия значений в ячейках от 1, знак и абсолютное значение указывают на характер и значимость влияния факторов на исследуемый процесс. Контрольные показатели – максимальная энтропия модели (E_{\max}), наблюдаемая энтропия (E) и приращение информации (II, information increment).

Таблица 20

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.01.1953 г. по 31.12.2003 г.

	B ₁	B ₂
A ₁	1,0364	0,8780
A ₂	0,9663	1,0388
A ₃	0,9055	1,1153

$E_{\max}=2,5850$ $E=2,5593$ $\Pi=0,99\%$

Таблица 21

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований, за период с 01.01.1953 г. по 31.12.1964 г.

	B ₁	B ₂
A ₁	0,7734	0
A ₂	0,6067	1,0162
A ₃	0,9193	0

$E_{\max}=2,5850$ $E=1,4285$ $\Pi=44,74\%$

Полученными результатами также подтверждаются заключения, сделанные выше, касающиеся комбинированного фактора A₂B₂ (102, населенные пункты, расположенные в зоне над Украинско-Балтийским линеаментом, загрязненной радионуклидами ¹³⁷Cs).

Значения расчетных показателей для данной категории в период с 01.01.1953 г. по 30.06.1984 г. (табл. 21–23) превышают 1 либо близки к единице. Соответствующие значения в период с 01.07.1984 г. по 31.12.2003 г. значительно меньше 1 (табл. 24, 25). Таким образом, можно утверждать, что присутствие радионуклидов ¹³⁷Cs на территории, расположенной над Украинско-Балтийским линеаментом, в определенной степени обуславливает снижение уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями.

Таблица 22

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.01.1965 г. по 31.12.1974 г.

	B ₁	B ₂
A ₁	0,8811	0,4532
A ₂	0,7118	0,9851
A ₃	0,8767	1,2005

$$E_{\max} = 2,5850 \quad E = 2,2008 \quad \Pi = 14,86 \%$$

Таблица 24

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.07.1984 г. по 30.06.1994 г.

	B ₁	B ₂
A ₁	0,3805	0,3324
A ₂	0,3215	0,3752
A ₃	0,3443	0,4608

$$E_{\max} = 2,5850 \quad E = 0,9542 \quad \Pi = 63,09 \%$$

Таблица 23

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.01.1975 г. по 30.06.1984 г.

	B ₁	B ₂
A ₁	1,1593	1,0251
A ₂	0,8945	1,1861
A ₃	1,0099	0

$$E_{\max} = 2,5850 \quad E = 2,2725 \quad \Pi = 12,09 \%$$

Таблица 25

Количественная оценка значимости факторов, влияющих на риск формирования злокачественных новообразований за период с 01.07.1994 г. по 31.12.2003 г.

	B ₁	B ₂
A ₁	0,9323	0,8709
A ₂	1,1732	0,1925
A ₃	0,8178	1,2298

$$E_{\max} = 2,5850 \quad E = 2,2474 \quad \Pi = 13,06 \%$$

Исследование проводилось в соответствии с планом научно-исследовательских работ, выполняемых профессорско-преподавательским составом в пределах основного рабочего времени (вторая половина дня).

Библиографические ссылки

1. Антон Г. Анализ таблиц сопряженности. Москва: Финансы и статистика. 1982.
2. Goodman L. A. Analysing qualitative/categorical data. Loglinear models and latent-structure analysis. L.: Addison-Wesley Publ. Co. 1978.
3. Mosteller F. Association and estimation in contingency tables // J. Amer. Statist. Assoc. 1968. № 63. P. 1–28.
4. Бубнов В. П., Дорожко С. В., Лаптенюк С. А. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа. Минск: БНТУ. 2009.
5. Лаптенюк С. А. Оценка влияния некоторых стромогенных факторов на развитие зоба у детей методом логарифмов преобладания // Здоровоохранение. 1998. № 7. С. 43–46.
6. Лаптенюк С. А., Арсюткин Н. В. Оценка влияния некоторых стромогенных факторов на развитие зоба у детей методом приращения информации // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 1998. №3. С. 22–26.
7. Лаптенюк С. А. Информационно-аналитический комплекс для математической обработки медико-экологических данных в целях решения задач по минимизации последствий чрезвычайных ситуаций: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.02 –Мн.: ИРБ «БЕЛПРАД». 2001.
8. Лаптенюк С. А. Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций. Минск: БНТУ. 2013.

КОМПЛЕКСНОЕ НЕПРЕРЫВНОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**С. А. Лаптёнок¹⁾, О. И. Родькин¹⁾, А. А. Кологривко²⁾,
Е. В. Федоренчик¹⁾, Ю. В. Кляусова²⁾, Т. А. Тавгень²⁾**

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты моделирования пространственного распределения абсолютных и логарифмических значений уровня интенсивного показателя заболеваемости злокачественными новообразованиями населения Воложинского и Столбцовского районов Минской области Республики Беларусь.

Ключевые слова: эколого-эпидемический процесс; интенсивный показатель; линейменты литосферы; радионуклидное загрязнение; непрерывное пространственное моделирование.

COMPREHENSIVE CONTINUOUS SPATIAL MODELING OF ECOLOGICAL AND EPIDEMIC PROCESSES

**S. Lapyonok¹⁾, O. Rodzkin¹⁾, A. Kologrivko²⁾,
E. Fedorenchik¹⁾, Y. Kliausava²⁾, T. A. Tavgen²⁾**

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru

²⁾ Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus

The results of modeling the spatial distribution of absolute and logarithmic values of the intensive incidence rate of malignant neoplasms in the population of the Volozhin and Stolbtsy districts of the Minsk region of the Republic of Belarus are presented.

Keywords: ecological-epidemic process; intensive indicator; lithospheric lineaments; radionuclide contamination; continuous spatial modeling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-81-84>

Метод непрерывного пространственного моделирования различного рода показателей, в том числе эпидемиологических, является эффективным средством для получения новой информации о тенденциях развития динамики исследуемых процессов и значимости влияния на них изолированных и комбинированных факторов природного и антропогенного происхождения [1–4].

В целях выявления тенденций динамики уровня заболеваемости населения Воложинского и Столбцовского районов злокачественными новообразованиями и оценки влияния на данный процесс геофизических и геоэкологических факторов производилось непрерывное пространственное моделирование распределения значений интенсивного показателя заболеваемости за каждый год в период с 01.01.1956 по 31.12.2003 г. (рис. 1, а). Периоды с 01.01.1953 г. по 31.12.1955 г. и с 01.01.1958 г. по 31.12.1959 г. исключены из обработки в связи с неустранимым дефицитом информации, не позволившим произвести расчеты интенсивных показателей [4].

В процессе визуального анализа непрерывных пространственных моделей, построенных для каждого календарного года, оценивались доли в процентах очагов с относительно высо-

кими уровнями интенсивного показателя (выделены на картах-моделях более интенсивной заливкой), расположенных в зонах геологических особенностей литосферы и зонах радионуклидного загрязнения по отношению к общему количеству таких очагов.

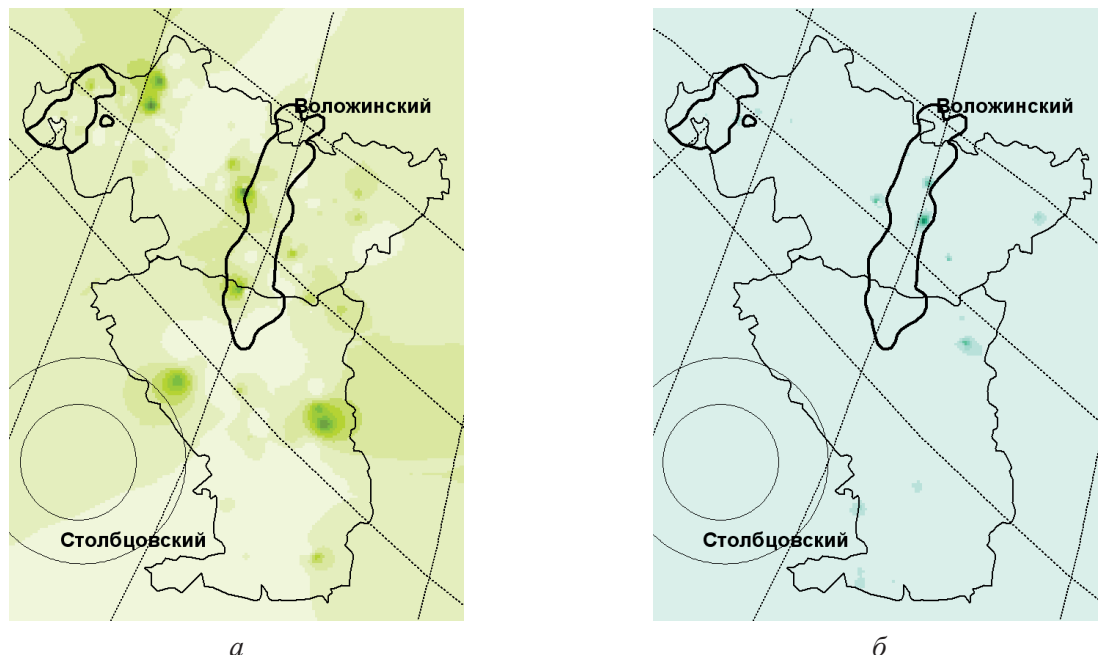


Рис. 1. Непрерывное пространственное распределение значений интенсивного показателя за 2000 г. (а); непрерывное пространственное распределение значений интенсивного показателя за период с. 01.01.1975 г. по 30.06.1984 г. (б)

Аналогичным образом производилось непрерывное пространственное моделирование распределения значений интенсивного показателя заболеваемости за каждый из пяти выделенных подпериодов (рис. 1, б).

В процессе визуального анализа непрерывных пространственных моделей, построенных для каждого подпериода, оценивались доли в процентах очагов с относительно высокими уровнями интенсивного показателя (выделены на картах-моделях более интенсивной заливкой), расположенных в зонах геологических особенностей и зонах радионуклидного загрязнения по отношению к общему количеству таких очагов.

Анализ полученных пространственных моделей показал, что практически для всего периода доля очагов, расположенных в зонах линеаментов и кольцевых структур литосферы, превышает 50 %. В целом за период наблюдения при различных подходах (моделирование показателей за каждый год и по периодам) эти значения близки и составляют около 70 % (71 % и – 65 % соответственно). С учетом того, что площадь территорий над линеаментами меньше площади территорий вне зон геологической активности, можно сделать заключение о том, что геофизические факторы, действующие в зонах линеаментов и кольцевых структур литосферы, обуславливают определенное увеличение уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями населения, постоянно проживающего в этих зонах.

Имеет место также некоторое снижение доли очагов в анализируемых зонах от периода до загрязнения (1956–1985 гг. – 47 %) к периоду после аварии на ЧАЭС (1986–2003 гг. – 37 %), однако значимость результатов анализа нивелируется высокой степенью усреднения данных, которая обусловила определенный дефицит информации.

Поскольку зоны, загрязненные радионуклидами, территориально практически совпадают с зонами линеаментов (рис.), можно предположить следующее: в зонах, расположенных над линеаментами литосферы, уровень заболеваемости населения злокачественными новообразованиями превышает уровень заболеваемости населения, проживающего вне этих зон;

комбинированное влияние геофизических факторов, действующих в данных зонах, и фактора загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs приводит к некоторому снижению уровня заболеваемости населения злокачественными новообразованиями.

Одним из достаточно часто используемых подходов к повышению точности анализа данных является использование в обработке наряду с реальными значениями величин их логарифмов [5–7]. В данном исследовании для формирования непрерывных пространственных моделей применялось логарифмирование по натуральному основанию значений интенсивного показателя заболеваемости злокачественными новообразованиями для каждого населенного пункта (рис. 2).

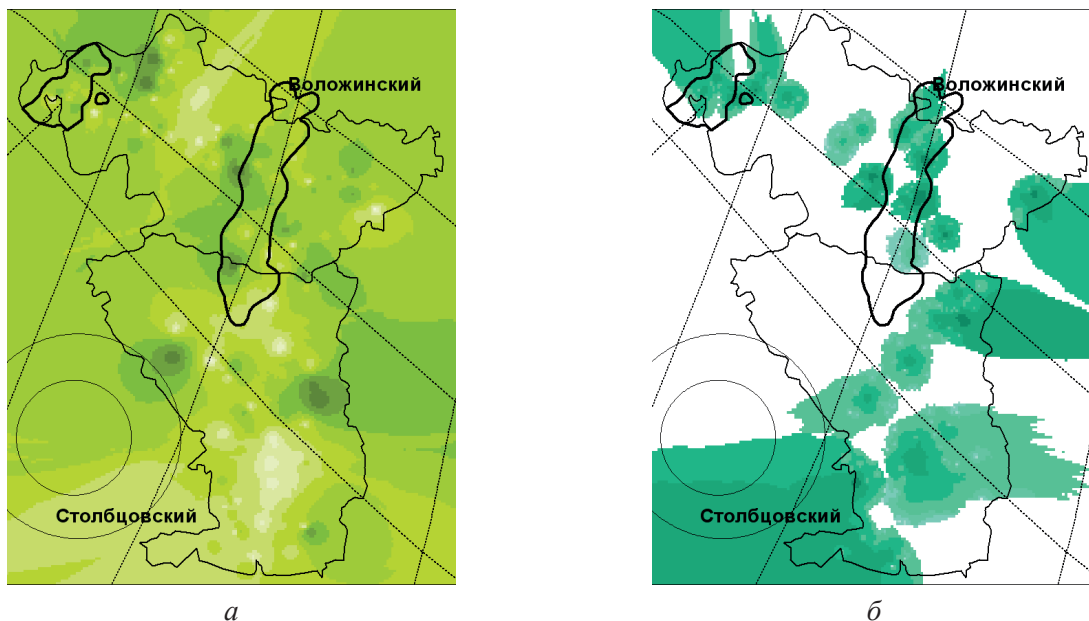


Рис. 2. Непрерывное пространственное распределение значений натуральных логарифмов интенсивного показателя за 2000 г. (а); непрерывное пространственное распределение значений натуральных логарифмов интенсивного показателя за период с.01.01.1975 г. по 30.06.1984 г. (б)

В целях контроля и уточнения тенденций динамики уровня заболеваемости населения Воложинского и Столбцовского районов злокачественными новообразованиями и оценки влияния на данный процесс геофизических и геоэкологических факторов производилось непрерывное пространственное моделирование распределения значений натуральных логарифмов интенсивного показателя заболеваемости за каждый год в период с 01.01.1956 по 31.12.2003 г. (рис. 2, а).

В процессе визуального анализа непрерывных пространственных моделей, построенных для каждого календарного года оценивались доли в процентах очагов с относительно высокими уровнями натуральных логарифмов интенсивного показателя (выделены на картах-моделях более интенсивной заливкой), расположенных в зонах геологических особенностей литосферы и зонах радионуклидного загрязнения по отношению к общему количеству таких очагов.

Аналогичным образом производилось непрерывное пространственное моделирование распределения значений натуральных логарифмов интенсивного показателя заболеваемости за каждый из пяти выделенных подпериодов (рис. 2, б).

В процессе визуального анализа непрерывных пространственных моделей, построенных для каждого подпериода, оценивались доли в процентах очагов с относительно высокими уровнями натуральных логарифмов интенсивного показателя (выделены на картах-моделях более интенсивной заливкой), расположенных в зонах геологических особенностей и зонах радионуклидного загрязнения по отношению к общему количеству таких очагов.

Анализ полученных пространственных моделей показал, что практически для всего периода доля очагов, расположенных в зонах линеаментов и кольцевых структур литосферы, превышает 50 %, как и в случае, описанном выше. В целом за период наблюдения при различных подходах эти значения достаточно близки и составляют около 60% (за каждый год – 67 %, по периодам – 53 %). Таким образом, подтверждается сделанное ранее заключение о том, что геофизические факторы, действующие в зонах линеаментов и кольцевых структур литосферы, обуславливают определенное увеличение уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями населения, постоянно проживающего в этих зонах.

Также можно говорить о некотором снижении доли очагов в анализируемых зонах от периода до загрязнения (1956–1985 гг. – 29 %) к периоду после аварии на ЧАЭС (1986–2003 гг. – 23 %). Таким образом, подтверждается ранее выявленная тенденция: от первого ко второму периоду доля очагов в зонах интереса снижается от 34 % до 29 % при значительном общем количестве очагов.

Таким образом, изложенное выше подтверждает выводы, сделанные выше, а именно: в зонах, расположенных над линеаментами литосферы, уровень заболеваемости населения злокачественными новообразованиями превышает уровень заболеваемости населения, проживающего вне этих зон; комбинированное влияние геофизических факторов, действующих в данных зонах, и фактора загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs приводит к некоторому снижению уровня заболеваемости населения злокачественными новообразованиями.

В целом методика моделирования непрерывного пространственного распределения интенсивного показателя заболеваемости совместно с моделированием непрерывного пространственного распределения значений его натурального логарифма позволила выявить и уточнить тенденции развития процесса под влиянием различного рода геоэкологических факторов.

В результате использования методики получена новая информация о существовании определенного рода изолированных и комбинированных воздействий на уровень заболеваемости населения факторов геофизического характера, действующих в зонах линеаментов литосферы, и фактора загрязнения территории радионуклидами. Полученная информация носит качественно-количественный характер и требует уточнения посредством применения более строгих математических методов.

Исследование проводилось в соответствии с планом научно-исследовательских работ, выполняемых профессорско-преподавательским составом в пределах основного рабочего времени (вторая половина дня).

Библиографические ссылки

1. Бубнов В. П., Дорожко С. В., Лаптёнок С. А. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа. Минск : БНТУ. 2009.
2. Морзак Г. И., Лаптёнок С. А. Пространственное моделирование в промышленной и социальной экологии. Минск : БГАТУ. 2011.
3. Лаптёнок С. А. Пространственное моделирование экологических процессов средствами географических информационных систем: учебно-методическое пособие. Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. 2020.
4. Лаптёнок С. А. Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций. Минск : БНТУ. 2013.
5. Сердюцкая Л. Ф., Яцишин А. В. Техногенная экология: математико-картографическое моделирование / – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2009.
6. Хаксхолд В. Ё. Введение в городские географические информационные системы. New York : Oxford University Press. 1991.
7. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М.: Иностранная литература, 1956.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ

С. А. Лаптёнок¹⁾, О. И. Родькин¹⁾, И. А. Тавгень¹⁾, А. А. Кологривко²⁾,
Е. П. Борботко¹⁾, И. В. Лазар¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

Обосновывается концепция создания ряда специализированных регистров социально значимых заболеваний с последующим объединением в единую государственную систему для оценки эпидемиологических рисков с учётом территориальных факторов.

Ключевые слова: здоровосозидание; социально значимые заболевания; система регистрации; территориальные факторы; пространственная компонента; оценка эпидемиологических рисков.

SYSTEMIC APPROACH TO SUBSTANTIATION OF THE CONCEPT OF A STATE REGISTRATION SYSTEM FOR SOCIALLY SIGNIFICANT DISEASES USING A SPATIAL COMPONENT

S. Lapyonok¹⁾, O. Rodzkin¹⁾, I. Tavgen¹⁾, A. Kologrivko²⁾,
E. Borbotko¹⁾, I. Lazar¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru

²⁾ Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus

The concept of creating a number of specialized registries of socially significant diseases with subsequent unification into a single state system for assessing epidemiological risks taking into account territorial factors is substantiated.

Keywords: health promotion; socially significant diseases; registration system; territorial factors; spatial component; epidemiological risk assessment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-85-88>

Одним из наиболее значимых показателей социально-экономических условий жизни населения является состояние общественного здоровья, следовательно, анализ эффектов комбинированных воздействия различных факторов природного и антропогенного происхождения на состояние здоровья человека, является в высшей степени актуальной задачей как в социально-экономическом, так и в научном аспекте.

В настоящее время как в глобальном масштабе, так и в масштабе Республики Беларусь можно выделить несколько групп нозологий, лидирующих в структуре смертности населения. Это, в первую очередь, болезни системы кровообращения, злокачественные новообразования, ряд инфекционных заболеваний, которые можно характеризовать как социально значимые.

С точки зрения безопасности жизнедеятельности, такие заболевания можно считать источниками чрезвычайных ситуаций («Чрезвычайной ситуацией является обстановка, сложившаяся

на данной территории (на объекте, у человека), в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери») [1].

Митигация («mitigation» – «смягчение», «ослабление», «облегчение», «уменьшение», «снижение») – совокупное понятие, под которое подходят все действия, предпринимаемые до наступления чрезвычайной ситуации, включая состояние готовности и долгосрочные меры по уменьшению риска, разработку и реализацию специфических проектов по снижению уязвимости населения [1].

Философия и методология митигации органично согласуется с разработанной в 80-90-х годах XX столетия членом-корреспондентом Национальной академии наук Беларуси Н. И. Аринчиным концепцией здравосозидания в Республике Беларусь. По А. Н. Аринчину здравосозидание представляет собой систему индивидуальных, государственных и международных мероприятий, направленных на вскрытие и ликвидацию источников заболеваний, формирование здоровья, долголетия и творческой жизнедеятельности каждого человека [2].

Очевидно, осуществление мер по снижению долгосрочного риска невозможно без достаточной информации о наличии факторов, его обуславливающих, и их адекватной оценки. Обоснование концептуальных основ методология выявления и первичной оценки такого рода факторов для территории Республики Беларусь и явилось целью данной публикации.

Значительная доля усилий и средств, направляемых на предотвращение чрезвычайных ситуаций и снижение тяжести их последствий, расходуются на митигацию техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, характеризующихся высокими темпами распространения. Значительно меньше внимания уделяется природным факторам, которые могут как потенцировать техногенные чрезвычайные ситуации, в том числе увеличивая тяжесть их последствий, так и становиться непосредственными источниками чрезвычайных ситуаций. Примером могут служить геологические, геофизические, геохимические, биологические и другие факторы, вызывающие эндемическое распространение физиологических аномалий и нозологических форм – эндемии тиреоидного зоба в зонах дефицита йода в почвах и водах, малярии в зонах тропических болот и др. [3] Поскольку такого рода процессы не характеризуются высокими темпами распространения, их, как правило, не относят к разряду чрезвычайных ситуаций. Очевидно, подобный подход является ошибочным, так как главный определяющий признак чрезвычайной ситуации – наличие угрозы здоровью (а часто и жизни) человека – в данном случае, бесспорно, присутствует.

28 февраля 2012 г по инициативе Министерства природных ресурсов Республики Беларусь было проведено рабочее совещание «Проблемы медицинской геологии Беларуси», в ходе которого обсуждались вопросы совместных с Министерством здравоохранения Республики Беларусь и другими заинтересованными министерствами исследований в области влияния геохимических и геофизических факторов на состояние физиологических систем организма человека в отдельных регионах Республики Беларусь. В качестве имплементации решений данного совещания предлагается системный подход к решению проблем выявления и оценки уровней рисков, связанных с проживанием в зонах с различными геофизическими и геохимическими характеристиками.

Белорусское государство активно пропагандирует и всемерно поддерживает ориентацию своих граждан на здоровый образ жизни. Следующим шагом в данном направлении может стать внедрение системы мероприятий, направленных на снижение риска возникновения опасных заболеваний вследствие воздействия территориально обусловленных факторов, и основанных на системном анализе информации с использованием современных технических и программных средств.

Материалы исследований последних десятилетий свидетельствуют о том, что в земной коре континентального типа повсеместно наблюдается густая, построенная по решетчатому типу сеть субвертикальных разломов, дробящих земную кору на многочисленные блоки, размеры которых измеряются километрами или десятками километров. Наличие этой системы трещинно-проницаемых разломов устанавливается и подтверждается различными методами.

Наиболее эффективный из них – структурное дешифрирование материалов аэрокосмической съемки в сопоставлении с геолого-геофизическими данными. [4; 5]

Не является исключением в этом плане и территория Беларуси, где по материалам космических съемок установлены разнопорядковые линейные структуры (линеаменты), отражающие особенности разломной тектоники. Характерная черта суперрегиональных линеаментов – их связь с глубинными (мантийными) разломами, активно проявившимися в различное геологическое время. Наиболее отчетливо на космических снимках выражены линеаменты, сопоставляемые с разломами, образованные в условиях растяжения земной коры шириной от 10 до 50 километров. Повышенной трещиноватостью и проницаемостью коры, мобильностью проявления геодинамических процессов отличаются участки пересечения линеаментов. [4]

Установлено, что зоны разломов земной коры оказывают значительное влияние на жизнедеятельность человека. Количество аварий на автодорогах выше в тех местах, где трассу пересекают системы разломов (геопатогенные зоны), а процент онкологических заболеваний оказался большим у людей, проживающих в населенных пунктах, расположенных вблизи суперрегиональных разрывных нарушений. Ураганы и смерчи прошлых лет были направлены преимущественно вдоль новейших геодинамических зон земной коры и аномалий магнитного и гравитационного полей Земли. [5]

Анализ пространственно распределенной информации такого рода и объема не представляется возможным без использования технологии географических информационных систем – аппаратно-программных комплексов, являющихся закономерным расширением концепции баз данных, дополняющих их наглядностью представления и возможностью решать задачи пространственного анализа. Применение ГИС-технологий позволяет резко увеличить оперативность и качество работы с пространственно распределенной информацией по сравнению с традиционными «бумажными» методами. [6–10]

В ходе проведенного пилотного исследования эколого-эпидемиологической ситуации, связанной с заболеваемостью населения злокачественными новообразованиями на территории Воложинского и Столбцовского районов Минской области, была получена дополнительная информация о комбинированном влиянии геоэкологических факторов природного и антропогенного характера на состояние здоровья населения, проживающего в условиях такого рода сочетанного воздействия [3].

Так, в частности, установлено, что фактор загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs оказывает определенное влияние на заболеваемость населения злокачественными образованиями, в определенной степени изменяя ее структуру по локализациям. Изменений структуры заболеваемости под влиянием геофизических факторов, действующих в зонах линеаментов литосферы, в результате анализа имеющихся данных не выявлено. Методами корреляционного анализа установлено также, что имеет место нарушение естественной связи между численностью населения и количеством случаев заболевания наблюдается в период, включающий период радионуклидного загрязнения территории в результате аварии на ЧАЭС и выявлены признаки определенного воздействия на уровень заболеваемости населения злокачественными новообразованиями, наряду с антропогенным фактором радионуклидного загрязнения, комплекса природных геофизических факторов, действующих в зонах линеаментов литосферы.

В ходе исследования также установлено, что геофизические факторы, действующие в зонах линеаментов и кольцевых структур литосферы, обуславливают определенное увеличение уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями населения, постоянно проживающего в этих зонах.

Результаты системного анализа с использованием комплекса методов обработки свидетельствуют, что комбинированное влияние геофизических факторов, действующих в зоне Украинско-Балтийского линеамента, и фактора загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs приводит к некоторому снижению уровня заболеваемости населения злокачественными новообразованиями.

Предлагаемый подход к анализу подобного рода информации может быть эффективно расширен как на другие значимые классы заболеваний (заболевания системы кровообращения, выделительной, пищеварительной, дыхательной систем и т.д.), так и на различные территориальные факторы (геологические, экологические и др.). Для его реализации в республиканском масштабе необходимо создание при профильных республиканских научно-практических центрах соответствующих регистров заболевших с указанием адреса места жительства для последующей территориальной привязки (геокодирования), математического и пространственного анализа с использованием географических информационных систем. Образцом в данном случае может служить государственный канцер-регистр.

Профильные регистры целесообразно объединить в единую информационную систему с возможностью обработки и визуализации информации в привязке к территории, для чего использовать пространственные картографические модели территории Республики Беларусь с отображением геологических, геофизических, геохимических, гидрологических и других объектов и зон, оказывающих или могущих оказывать влияние на функционирование систем организма.

Функционирование предлагаемой системы обеспечит эффективное выявление территорий, в пределах которых сочетанное воздействия различных природных и антропогенных факторов может обусловить повышение рисков формирования тех или иных социально значимых патологий, что позволит оперативно принимать управленческие решения по осуществлению превентивных мер, направленных на снижение уровня соответствующих рисков (углубленный целевой мониторинг, профилактические мероприятия и т.п.), что будет иметь значимый экономический и социальный эффект как в местном и региональном, так и в общегосударственном масштабе.

Исследование проводилось в соответствии с планом научно-исследовательских работ, выполняемых профессорско-преподавательским составом в пределах основного рабочего времени (вторая половина дня).

Библиографические ссылки

1. *Дорожко С. В., Пустовит В. Т., Морзак Г. И.* Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. Учебное пособие в 3-х частях. Минск : УП «Технопринт». 2001.
2. *Аринчин Н. И.* Здравосозидание. Минск. 1998.
3. *Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И.* Эколого-тектонофизическая среда Беларуси. Минск : Беларуская навука. 2015.
4. *Губин В. Н.* Космогеология на современном этапе: региональные исследования, литомониторинг, образование // Дистанционное зондирование природной среды: теория, практика, образование: сб. науч. ст. / Минск. 2006. С. 14–18.
5. *Тяшкевич И. А.* 40 лет развития метода дистанционного зондирования природных ресурсов в Республике Беларусь // Дистанционное зондирование природной среды: теория, практика, образование. / Минск. 2006. С. 6–10.
6. *Абламейко С. В., Апарин Г. П., Крючков А. Н.* Геоинформационные системы: создание цифровых карт. Минск. 2000.
7. *Бубнов В. П., Дорожко С. В., Лаптёнок С. А.* Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа. Минск : БНТУ. 2009.
8. *Кошкарев А. В., Тикунов В. С.* Геоинформатика. М. : «Картгеоцентр», Геодезиздат. 1993.
9. *Морзак Г. И., Лаптёнок С. А.* Пространственное моделирование в промышленной и социальной экологии. Минск : БГАТУ. 2011.
10. *Лаптёнок С. А.* Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций. Минск : БНТУ. 2013.
11. *Лаптёнок С. А.* Пространственное моделирование экологических процессов средствами географических информационных систем: учебно-методическое пособие. Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. 2020.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И РЕГИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. Е. Ларионова¹⁾, Е. С. Лён¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, missiselena25@yandex.by

Проведён анализ применения пестицидов в Республике Беларусь за период 2014-2023 гг., выявлены региональные особенности их использования, а именно более всего пестицидов применяется в Минской области (27%) и Гродненской области (23%). Установлена ведущая роль гербицидов в общей структуре применения препаратов (70%). Общее количество препаратов, внесенных в реестр насчитывает 1125 наименований, из них 1 класса опасности – 6 препаратов, 2 класса опасности – 146 препаратов. В Республике Беларусь действует 5 полигонов по захоронению непригодных пестицидов, расположенных в Витебской, Гомельской и Могилёвской областях.

Ключевые слова: пестициды; реестр пестицидов; полигоны захоронений.

FEATURES OF THE STRUCTURE AND REGIONAL USE OF PESTICIDES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

A. E. Larionova¹⁾, E. S. Len¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, missiselena25@yandex.by

An analysis of pesticide use in the Republic of Belarus for the period 2014-2023 was conducted and regional features of their use were identified, namely the highest pesticide use is observed in the Minsk Region (27%) and the Grodno Region (23%). The leading role of herbicides in the overall structure of pesticide application (70%) was established. The total number of products registered in the official register is 1.125 names, of which 6 products belong to hazard class 1, and 146 products belong to hazard class 2. There are five disposal sites for obsolete pesticides in the Republic of Belarus, located in the Vitebsk, Gomel, and Mogilev Regions.

Keywords: pesticides; pesticide register; disposal sites.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-89-92>

Пестициды – химические или биологические препараты, используемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, вредителями продукции сельского и лесного хозяйства в процессе производства, переработки, хранения, транспортировки или сбыта, вредными организмами в жилых домах и общественных местах, переносчиками болезней человека и животных, а также для регулирования роста растений, предуборочного удаления листьев и подсушивания растений, прореживания или предотвращения преждевременного опадания плодов. Пестициды применяются в виде различных препаративных форм, в состав которых входит действующее вещество пестицида или смесь действующих веществ и вспомогательные вещества.

При проведении анализа данных, приведенных в перечне зарегистрированных средств защиты растений, было выявлено, что на территории Республики Беларусь разрешено использовать порядка 1125 препаратов для защиты растений. На рис. 1 представлена количественное и процентное соотношение зарегистрированных пестицидов.

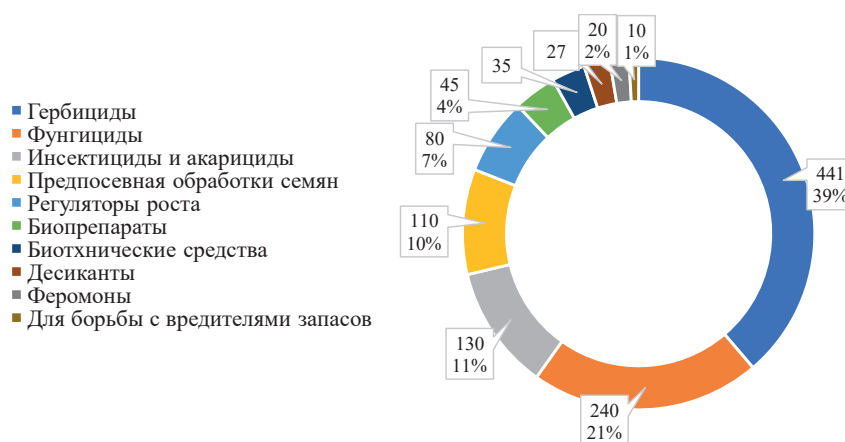


Рис. 1. Зарегистрированные в Республике Беларусь пестициды по характеру действия, количество, %

Число гербицидов составляет 441 (39 %) препаратов, фунгицидов 240 (21 %), инсектицидов и акарицидов 130 (11 %), препараты для предпосевной обработки семян 110 (10 %), регуляторы роста 80 (7 %), биопрепараты 45 (4 %), биотехнические средства 35 (3 %), десиканты 27 (2 %), феромоны 20 (2 %), препаратов для борьбы с вредителями запасов 10 (1 %), родентициды 9 (1 %), репелленты 3 (0,26 %), нематициды 3 (0,26 %), моллюскоциды 2 (0,17 %).

При анализе учитывались пестициды 1 и 2 классов опасности. Данные, приведённые в перечне показали, что пестицидов, относящихся к 1 классу опасности насчитывается 6 препаратов, 2 класса опасности 146 препаратов.

Основная часть препаратов 1 класса опасности относится к препаратам для борьбы с вредителями запасов. Дакфосал применяется в таблетках. Производитель – ОА «Щелково Агрохим» Россия. Действующее вещество – алюминия фосфид, 570 г/кг. Магтоксин применяется в таблетках. Производитель – Германия. Действующее вещество – фосфид магния, 660 г/кг. Фостоксин и Фумифаст имеют одно действующее вещество – фосфид алюминия 560г/кг, но различных производителей – Германия и Россия. Шторм относится к родентицидам, разрешен к применению в восковых брикетах. Производитель – Швейцария. Действующее вещество – флюкумафен 0,005%. AROX Карбид относится к репеллентам, применяется в гранулах. Производитель – Польша. Действующее вещество – карбид кальция, 800 г/кг.

Наибольшее количество веществ второго класса опасности относится к фунгицидам. Адванс применяется в виде водно-диспергируемых гранул. Производитель – Россия. Действующее вещество – флутриафол, 800 г/кг. Азумакс разрешён к применению в виде водно-диспергируемых гранул. Производитель – Китай. Действующее вещество – каптан, 800 г/кг. Бродэр применяется в виде концентрата эмульсии. Производитель – Турция. Действующее вещество – дифеноконазол, 150 г/л + пропиконазол, 150 г/л. Тебаз ПРО применяется в виде суспензионного концентрата. Производитель – Нидерланды. Действующее вещество – тебуконазол 250 г/л + азоксистробин 200 г/л.

Законодательное регулирование в Республике Беларусь в области средств защиты растений основано на Законе Республики Беларусь «О карантине и защите растений» от 25.12.2005 N 77-3. Порядок регистрации, без которой применение средств защиты растений в Республике Беларусь запрещено, установлен в Постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 24.09.2021 N 548 «Об административных процедурах, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования».

Проанализированные данные сборников «Об использовании удобрений и пестицидов в Республике Беларусь» за период 2014-2023 гг. по характеру воздействия в сельскохозяйственных организациях, содержащиеся в материалах Национального статистического комитета Республики Беларусь, представлены на рис. 2.

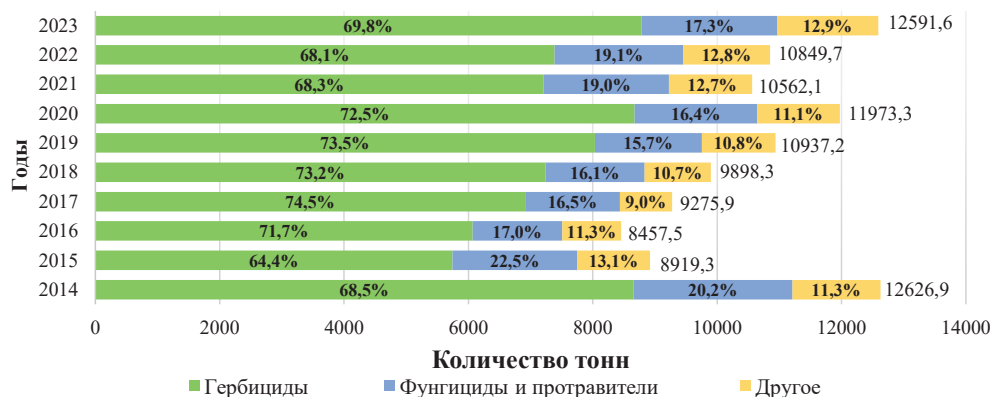


Рис. 2. Применение пестицидов по характеру воздействия в сельскохозяйственных организациях, тонны, %

За период 2014-2023 гг. было применено: в 2014 году – 12626,9 тонны; в 2015 году – 8919,3 тонны; в 2016 году – 8457,5 тонны; в 2017 году – 9275,9 тонны; в 2018 году – 9898,3 тонны; в 2019 году – 10937,2 тонны; в 2020 году – 11973,3 тонны; в 2021 году – 10562,1 тонны; в 2022 году – 10849,7 тонны; в 2023 году – 12591,6 тонны.

Доминирующей категорией пестицидов являются гербициды. Они составляют около 70% от общего количества применяемых пестицидов. Это объясняется тем, что в Беларуси велики посевы зерновых, кукурузы и рапса. Данные культуры зависят от контроля произрастания сорняков для получения высоких урожаев.

Максимальное значение использования пестицидов приходится на начало анализируемого периода (2014 год) и составляет 12626,9 тонны. На период 2015-2016 года прослеживается значительный спад применения пестицидов. Минимальное значение приходится на 2016 год и составляет 8457,5 тонны. На период 2017-2020 года наблюдается активный рост, который может объясняться несколькими факторами: увеличением площадей под посевы рапса, кукурузы, подсолнечника, которые требуют более интенсивной химической защит; накопительный эффект от снижения обработок в 2015-2016 гг.; климатические факторы. В конечном итоге к 2023 году количество использования пестицидов вернулось к тем же показателям, как и в 2014 году.

Динамика использования пестицидов по областям Республики Беларусь представлена на рис. 3.

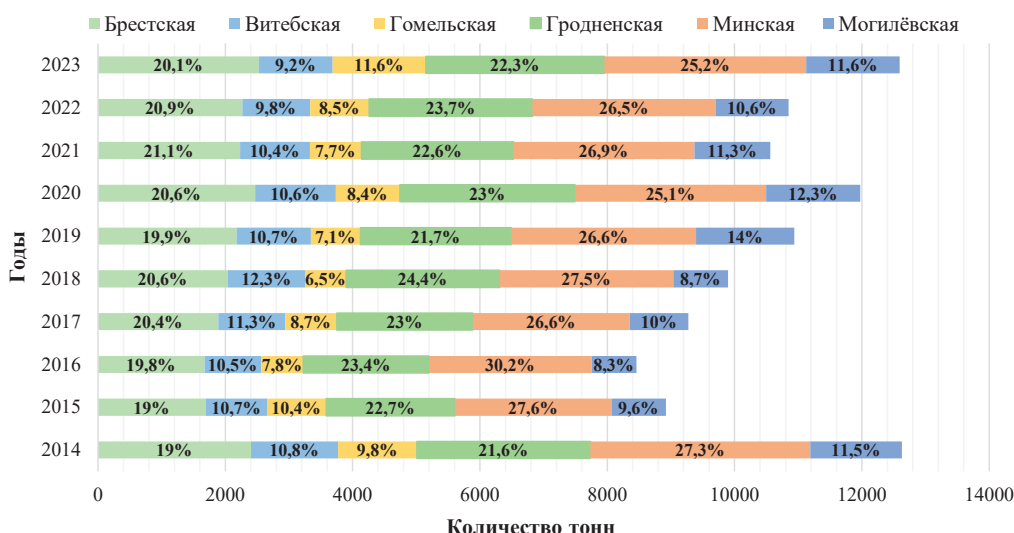


Рис. 3. Применение пестицидов в сельскохозяйственных организациях по областям за период 2014-2023 гг., %

Наибольшее количество применения пестицидов регистрируется в Минской и Гродненской области. Минская область в среднем составляет около 27 %, Гродненская 23 %. Данный факт может объясняться различными причинами. Гродненская и Минская области характеризуются наивысшим баллом плодородия среди всех областей, что обусловлено выгодностью внесения пестицидов для достижения более высоких урожаев. Минимальная доля естественных лугов и пастбищ в сравнении с другими областями. Большая часть земель используется под интенсивное растениеводство, что требует химическую защиту.

Наименьшее количество применения пестицидов регистрируется в Гомельской области, около 8,6 %. Основным фактором, влияющим на количество применения пестицидов может являться структура посевных площадей. Гомельская область имеет наивысший процент земель, занятых естественными кормовыми угодьями (луга, пастбища) в сравнении с пашней. Также влияет гранулометрический состав почв. Гомельская область характеризуется преобладанием лёгких почв. Они менее плодородны, имеют повышенный риск вымывания пестицидов в грунтовые воды.

В середине 70-х годов было принято решение о захоронении непригодных пестицидов на территории современной Республики Беларусь. Непригодные химические вещества были утилизированы путем захоронения в семи специально подготовленных подземных хранилищах. Процесс включал в себя укладку пестицидов в штатной таре в траншеи глубиной 3,5-4 метра, вырытые бульдозерами. Для обеспечения безопасности, дно и стены траншей были изолированы глиной, железобетонными плитами и полиэтиленовой пленкой. Сверху химикаты также покрывались пленкой, слоем глины и песчаным грунтом.

В 1999 году Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Беларуси подняло вопрос о серьезной экологической проблеме. Обнаружение ядовитых примесей в подземных водах, являющихся основным источником питьевого водоснабжения, вызвало обоснованное беспокойство. Дополнительную угрозу представляли захоронения непригодных пестицидов, расположенные вблизи границ с соседними странами, что могло привести к трансграничному загрязнению в случае утечек. В 2007 году удалось нейтрализовать брестское захоронение непригодных пестицидов, которое могло спровоцировать масштабную трансграничную проблему. В 2012 году было ликвидировано Слонимское захоронение.

В настоящее время в Республике Беларусь находится 5 захоронений непригодных пестицидов. Объекты захоронения пестицидов расположены в Витебской области – Верхнедвинское захоронение (454,5 тонны), Поставское захоронение (99 тонн), Городокское захоронение (411,4 тонны); в Гомельской области – Петриковское захоронение (2660 тонн); в Могилёвской области – Дрибинское захоронение (531,5 тонны).

Библиографические ссылки

1. Пестициды: современные тенденции применения и эпидемиология острых отравлений (обзор литературы) / П. Г. Рожков [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. 2024.
2. Государственное учреждение «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений». URL: <http://ggiskzr.by/>. (дата обращения: 01.11.2025).
3. Кузьмин С. И., Савастенко А. А. Пестициды в Республике Беларусь: инвентаризация, мониторинг, оценка воздействия на окружающую среду / Под общей редакцией В. М. Федени. Минск, Бел НИЦ «Экология». 2011. 84 с.
4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь «Об использовании удобрений и пестицидов по урожай за период 2014-2023 год в Республике Беларусь».
5. Пестициды.BY. URL: <https://pesticity.by/>. (дата обращения: 29.10.2025).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ RDF-ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

К. К. Леонтьева С. Е. Головатый

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, sscience@yandex.by

Данная тема является актуальной ввиду роста масштабов использования отходов в качестве альтернативного топлива и одновременного усиления требований к охране атмосферного воздуха. Неконтролируемые выбросы токсичных соединений представляют серьезную угрозу экологическому состоянию регионов и здоровью населения. Исследование данной проблемы важно для минимизации негативного воздействия промышленных процессов и обеспечения экологической безопасности в условиях интенсивного развития отраслей, связанных с утилизацией горючих отходов.

Ключевые слова: горючие отходы; твердое топливо; выбросы вредных веществ; атмосферный воздух; экологическая безопасность; энергетические ресурсы; очистка газовых выбросов.

ECOLOGICAL ASPECTS OF USING REFUSE DERIVED FUEL IN REPUBLIC OF BELARUS: ANALYSIS OF EMISSIONS AND PERSPECTIVES OF USE

K. K. Leontyeva S. E. Golovatiy

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, sscience@yandex.by

This topic is relevant due to the increasing use of waste as an alternative fuel and the simultaneous strengthening of legal requirements for atmospheric air protection. Uncontrolled emissions of toxic compounds pose a threat to the ecological state of regions and to public health. The study of this issue is important for reducing the negative impact of industrial processes and maintaining environmental safety in the context of the intensive development of industries connected with the utilization of combustible wastes.

Keywords: combustible wastes; solid fuel; emissions; atmospheric air; environmental safety; power resources; emission control.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-93-96>

В условиях современной экономики Республики Беларусь проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов приобретает особую значимость. Одним из стратегических направлений развития страны является увеличение доли местных и нетрадиционных видов топлива в общем энергетическом балансе, что неразрывно связано с задачей эффективной утилизации растущего объема отходов производства и потребления. Беларусь располагает значительным, но недостаточно используемым потенциалом горючих отходов: ежегодный энергетический ресурс коммунальных отходов оценивается до 500 тыс. т. у.т., отходов растениеводства – до 1,46 млн. т. у.т., а неиспользуемых древесных отходов – не менее 1 млн т. у.т. при общем их потенциале более 3 млн т. у.т. В этом контексте производство и использование RDF-топлива рассматривается как перспективный технологический подход, позволяющий решить одновременно две задачи: снизить нагрузку на полигоны захоронения и заместить часть импортируемых энергоносителей.

RDF-топливо представляет собой продукт переработки преимущественно твердых коммунальных отходов (ТКО) и некоторых видов промышленных отходов, прошедших стадии сортировки, извлечения вторичных материальных ресурсов (ВМР), дробления, магнитной сепарации и, в ряде случаев, стабилизации. Ключевой особенностью такого топлива является его высокая теплотворная способность, которая, согласно различным источникам, может достигать 10-18 МДж/кг и более, что сопоставимо с бурым углем или торфом. Однако в отличие от традиционных энергоносителей, RDF-топливо характеризуется значительной гетерогенностью состава, которая напрямую влияет как на энергетическую ценность, так и на экологические показатели процесса сжигания [1].

Обращаясь к положительным аспектам применения RDF-топлива, в первую очередь следует отметить его роль в реализации принципов циркулярной экономики. Согласно Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами до 2035 года, Беларусь планировала к 2025 году обеспечить переработку не менее 64% коммунальных отходов, а к 2035 году – не менее 90%. Производство RDF-топлива позволяет вовлечь в хозяйственный оборот остатки сортировки, то есть фракции, не пригодные для материальной переработки, но обладающие энергетической ценностью. Это способствует сокращению объемов захоронения и, как следствие, снижению эмиссии парниковых газов на полигонах. Кроме того, использование RDF-топлива на цементных заводах или в энергетических установках позволяет замещать традиционное ископаемое топливо, что имеет положительный экономический эффект и способствует диверсификации топливного баланса страны. Исследования белорусских подтверждают, что применение многокомпонентного твердого топлива на основе отходов позволяет не только утилизировать их, но и получать продукт со стабильными характеристиками, пригодный для сжигания в стандартных слоевых топках [2; 3].

Однако использование RDF-топлива сопряжено с рядом серьезных проблем и потенциальных экологических рисков, которые требуют детального изучения и учета на стадии проектирования технологических линий. Главным недостатком является нестабильность состава топлива, которая определяется морфологией исходных отходов, сезонными колебаниями и эффективностью сортировки. Эта нестабильность ведет к колебаниям теплотворной способности, влажности, зольности и, что наиболее критично, к изменению содержания потенциально опасных элементов – серы, хлора, азота и тяжелых металлов. Именно наличие этих компонентов предопределяет специфику и токсичность выбросов при сжигании RDF-топлива.

В процессе термической переработки RDF-топлива образуется сложная смесь загрязняющих веществ, состав и концентрация которых зависят от элементного состава исходной смеси. Ключевыми загрязнителями являются оксиды серы (SO_x), оксиды азота (NO_x), хлористый водород (HCl), тяжелые металлы и стойкие органические загрязнители, включая диоксины и фураны. Образование SO_x , как правило, связано с наличием серы в составе резинотехнических изделий, некоторых видов пластиков и органики. Хотя содержание серы в RDF часто ниже, чем в традиционных углях, оно может быть значительным. Например, исследования составов многокомпонентного топлива на основе осадков сточных вод (ОСВ), древесных опилок и углеводородсодержащих отходов, проводимые в Белорусском национальном техническом университете, показывают варьирование содержания серы в широких пределах, что требует учета при разработке нормативов выбросов [4].

Еще более сложной является проблема образования NO_x . Основной вклад вносит так называемый «топливный» азот, содержащийся в белковых фракциях отходов, особенно в осадках сточных вод. Высокое содержание азота в ОСВ делает топлива на их основе источниками интенсивных выбросов NO_x , для подавления которых требуются специальные технологические приемы – ступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов или селективное некаталитическое восстановление. Температурный режим и коэффициент избытка воздуха в зоне горения

являются критическими параметрами: превышение оптимальных значений (850-900°C) может резко увеличить эмиссию NO_x [4].

Особую опасность представляют выбросы хлористого водорода и потенциальное образование диоксинов и фуранов. Источником хлора в RDF-топливе являются галогенсодержащие полимеры, такие как ПВХ, которые не всегда эффективно удаляются на стадии сортировки. При сжигании таких материалов образуется HCl, коррозионно-активный газ, требующий нейтрализации. В присутствии хлора, тяжелых металлов и при нарушении температурного режима (250-450°C) возможно образование сверхтоксичных диоксинов и фуранов. Именно поэтому в мировой практике ужесточаются требования к сортировке и к режимам сжигания RDF-топлива, предписывающим высокотемпературный нагрев и их быстрое охлаждение [5].

Выбросы тяжелых металлов также являются характерной чертой сжигания RDF-топлива. Металлы содержатся в красителях, электронных компонентах, батарейках и других отходах, попадающих в RDF-фракцию. При горении они перераспределяются между донной золой и летучей фракцией, причем особую опасность представляют субмикронные частицы металлов, которые практически не улавливаются механическими пылеуловителями и требуют применения высокоэффективных рукавных фильтров или электрофильтров в сочетании с сорбентами [6].

Для Беларуси, где перспективы развития энергетической утилизации отходов велики, а в составе потенциального топлива значительную долю могут составлять такие сложные компоненты, как осадки сточных вод, отходы растениеводства и углеводородсодержащие материалы. Разрабатываемые технологии брикетирования влажных смесей направлены не только на улучшение теплотехнических характеристик, но и на минимизацию экологических рисков путем подбора оптимальных рецептур. Например, включение в состав топлива древесной биомассы позволяет не только повысить его теплотворную способность, но и повлиять на поведение серы и азота в процессе горения [7].

Важно подчеркнуть, что успешное внедрение RDF-технологий в Беларуси невозможно без создания надежной системы экологического мониторинга и контроля. Это подразумевает не только оснащение установок современными газоанализаторами непрерывного действия, но и разработку нормативной базы, учитывающей специфику выбросов при сжигании отходов. Действующие в республике нормативы допустимых выбросов разрабатывались преимущественно для традиционных видов топлива и не в полной мере отражают особенности эмиссии при сжигании RDF, в частности, необходимость контроля сверхтоксичных микропримесей на предельно низких уровнях концентраций [8].

Таким образом, экологически безопасное использование RDF-топлива в Беларуси требует комплексного подхода, включающего:

- 1) совершенствование системы сортировки отходов с максимально полным удалением опасных компонентов;
- 2) разработку и оптимизацию рецептур многокомпонентного топлива с учетом данных элементного анализа и результатов экспериментального сжигания;
- 3) выбор технологий сжигания и газоочистки, адекватных составу перерабатываемого топлива и обеспечивающих соблюдение нормативов выбросов;
- 4) создание системы непрерывного экологического контроля и мониторинга на объектах энергетической утилизации;
- 5) совершенствование нормативно-правовой базы в области нормирования выбросов и обращения с зольными остатками.

Таким образом, будущее RDF-технологий в Беларуси напрямую зависит от способности обеспечить экологическую безопасность их применения. Это подразумевает создание комплексной системы управления качеством на всех этапах: от строгого контроля состава исходных отходов и их предварительной обработки до выбора оптимальных режимов сжигания

и применения современных, высокоэффективных систем очистки дымовых газов, адаптированных к специфическому спектру загрязнителей, характерному для RDF. Только при соблюдении этих условий использование RDF-топлива станет не просто способом утилизации, а полноценным и экологически приемлемым источником энергии в рамках устойчивого развития республики.

Библиографические ссылки

1. *Пехота, А. Н.* Многокомпонентное твердое топливо на основе малоиспользуемых горючих отходов (теория. технология. производство): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.04 / Белорусский национальный технический университет, Минск, 2023. 44 с.

2. *Климук А. С., Юрченко М. А., Павлова В. В.* Перспективы использования RDF-топлива в Республике Беларусь // Развитие логистики и управления цепями поставок : материалы IV Международной научно-практической студенческой конференции (в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации 2023»), г. Минск, 24 ноября 2023 года / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Т. В. Матюшинец, Р. Б. Ивуть, П. И. Лапковская ; сост. П. И. Лапковская. Минск, 2023. С. 25–28.

3. Использование отходов за 2010-2024 гг. // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-3-ispolzovanie-otkhodov/> (дата обращения 08.01.2026).

4. *Хрусталёв Б. М., Пехота А. Н.* Технология эффективного использования углеводородсодержащих отходов в производстве многокомпонентного твердого топлива // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2016. № 2. С. 122–140.

5. *Санин Г. К., Мисюченко В. М., Морозов Е. А.* Разработка модели для определения оптимального состава RDF-топлива в Республике Беларусь // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2022. № 3. С. 78–88.

6. Reference Document on the Best Available Waste Incineration Technologies : Industrial Emissions Directive 2010/75/EU / F. Neuwahl [et al.]// Publications Office of the European Union. 2019. DOI: 10.2760/761437.

7. *Вострова Р. Н., Пехота А. Н., Коваленко В. Н.* Брикетирование осадков сточных вод – направление создания альтернативного топлива // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы III республиканской научно-технической конференции, 27-28 апреля 2023 года / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. Минск, 2023. С. 164–169.

8. Производство и использование RDF-топлива в Республике Беларусь / Е. О. Щербина [и др.]// Природопользование и экологические риски : материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г. Минск : БГТУ, 2019. С. 48–54.

ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА СВИНЦА PbS

Б. Э. Малишевская¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, beate.lammermour@gmail.com

Представлены результаты наноструктурирования поверхности кристаллов PbS, рассмотрены процессы деградации незащищённых наноструктурированных поверхностей (при хранении в атмосфере воздуха).

Ключевые слова: деградация материала; запрещённая зона; ионно-плазменная обработка; наноструктуры; оптическое отражение; сульфид свинца.

EFFECT OF SURFACE NANOSTRUCTURING ON THE OPTICAL PROPERTIES OF LEAD SULFIDE (PbS) CRYSTALS

B. Malishevskaya¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, beate.lammermour@gmail.com

The results of nanostructuring the surface of PbS crystals are presented, and the degradation processes of unprotected nanostructured surfaces (during storage in ambient air) are considered.

Keywords: material degradation; band gap; ion-plasma processing; nanostructures; optical reflection; lead sulfide.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-97-101>

В течение последних десятилетий тонкие плёнки сульфида свинца (PbS) стали объектом пристального внимания в сферах прикладной науки, связанных с изготовлением газовых сенсоров, детекторов ИК-диапазона, тонкопленочных транзисторов на тонких плёнках, фотовольтаических элементов и т.д. благодаря их уникальным оптическим и электрическим свойствам, в частности, настраиваемой ширине запрещённой зоны в ближнем инфракрасном диапазоне [1]. Наличие в составе данных плёнок свинца, как тяжелого металла высокой степени токсичности, способного накапливаться в организме человека и биосфере, вызывает необходимость дополнительных исследований методов, позволяющих безопасное для окружающей среды использование в научных разработках сульфидов свинца.

Тонкие плёнки PbS могут быть получены методами химического осаждения, центрифугирования коллоидных растворов, вертикальной зонной плавки и вакуумного напыления. В ходе применения данных методов уделяется повышенное внимание минимизации попадания свинца, а также оксидов и солей свинца (PbSO₄, PbO) в окружающую среду и сточные воды. Толщина полученных тонких плёнок не превышает нескольких микрометров, что характеризует химическое количество используемого свинца как сравнительно малое. Необходимо также отметить, что в ходе технической эксплуатации тонкопленочные устройства на основе PbS находятся в изолированном состоянии, что минимизирует риск прямого контакта со свинцом.

Монокристаллы PbS, рассматриваемые в данной статье, были выращены методом вертикальной зонной плавки в среде аргона Ar. Давление аргона составляло 1,2 МПа, скорости перемещения зоны – 2 мм/ч. Полученные монокристаллы PbS имели кристаллографическое направление вдоль оси роста. Процентное соотношение элементов в химическом составе характеризовалось следующими значениями (процент содержания свинца Pb незначительно превышен): процент содержания свинца Pb составил 50,95 %, процент содержания серы – 49,05 %.

Кристаллы подлежали расколу в направлении, перпендикулярном оси их роста. Поверхность пластин, полученных в результате раскола, была подвержена механической полировке с последующей химической очисткой. Наноструктурирование поверхности пластин осуществлялось в реакторе высокоплотной аргоновой плазмы высокочастотного индукционного разряда (13,56 МГц) низкого давления со следующими режимами обработки: расход аргона составил 10 нсм³/мин, рабочее давление в реакторе составило 0,07 Па, ВЧ-мощность на индукторе 800 Вт, мощность ВЧ-смещения на алюминиевом подложкодержателе 200 Вт.

Морфология поверхности кристаллов PbS, подверженной ионно-плазменной обработке, была исследована методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием микроскопа Supra 40 (Carl Zeiss). Линейные размеры пучка оптического излучения на поверхности образца составили 5 мм · 5 мм. На вершинах элементов наноструктур были сформированы свинцовые капли квазисферической формы. Общая высота наноструктур достигла 140 нм, линейные размеры свинцовых квазисферических капель находились в диапазоне от 25 нм до 70 нм. Поверхностная плотность образованных наноструктур составила $5 \cdot 10^9$ см⁻². Линейные размеры боковых элементов наноструктур находились в диапазоне от 20 нм до 60 нм.

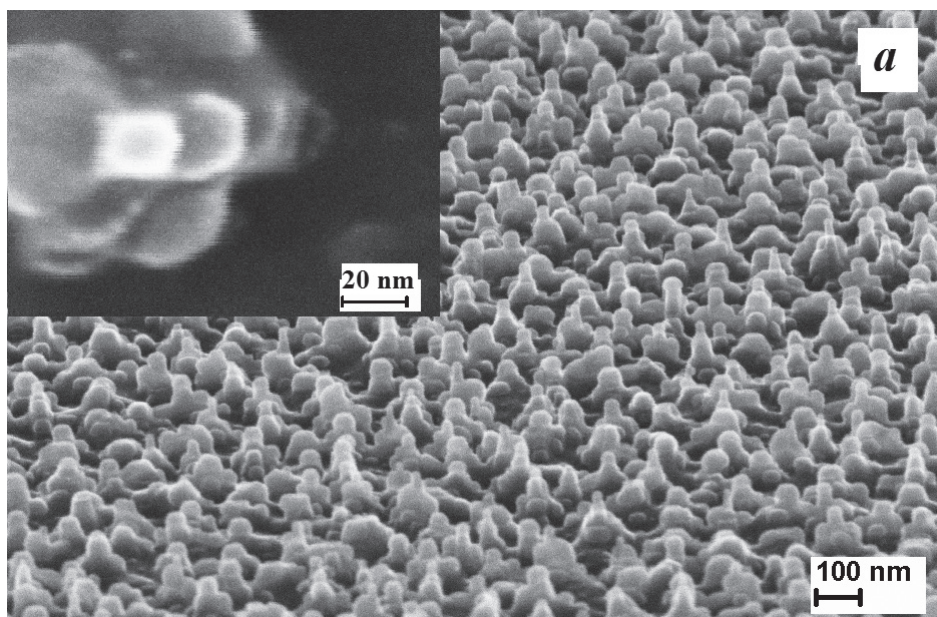


Рис. 1. Морфология поверхности кристаллов PbS непосредственно после осуществления плазменного наноструктурирования

Функция Кубелки-Мунка для диффузного отражения имеет следующий вид:

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

На рис. 2 функция Кубелки-Мунка для спектра диффузного отражения исходной поверхности кристаллов PbS графически отображена в координатах Тауца.

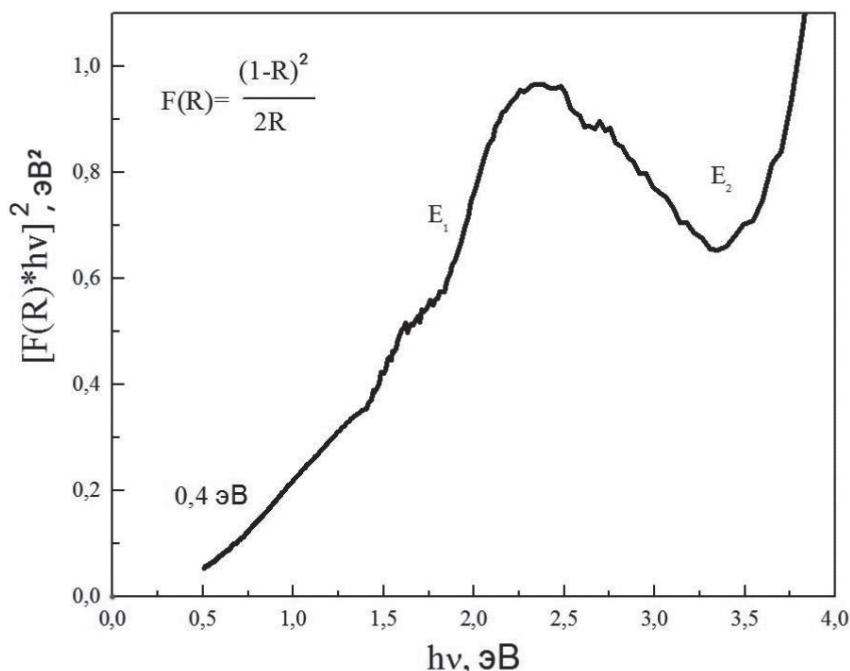


Рис. 2. Функция Кубелки-Мунка для спектра диффузного отражения исходной поверхности кристаллов PbS в координатах Тауца

Значение E_g для наноструктурированной поверхности кристалла PbS, которое также было определенное из спектра диффузного отражения по теории Кубелки–Мунка (рис. 3), составило 3,45 эВ. Данное значение в 8.625 раза превышает значение E_g для исходной поверхности кристаллов. Настолько значительный рост значения E_g связан с действием эффекта размерного квантования, возникающего при плазменной обработке поверхности полупроводниковых кристаллов [2].

На основании проведённых вычислений может быть предположено, что на поверхности наноструктурированных кристаллов PbS при взаимодействии с воздухом происходит формирование оксидной оболочки $PbO \cdot PbSO_4 / PbO$. Вследствие этого можно сказать, что эффективные размеры наноструктур PbS меньше величины боровского радиуса экситона, что и приводит к появлению эффекта размерного квантования. В области края поглощения наблюдается подчинение функции Кубелки–Мунка правилу Урбаха (рис. 3). Это значит, что показатель поглощения наноструктурированной поверхности кристаллов PbS экспоненциально возрастает вместе с увеличением энергии падающего фотона $h\nu$. Значение энергии Урбаха определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой зависимости $\ln F(R)$ от энергии фотона $h\nu$. На основании расчёта данного хвоста Урбаха, принимающего относительно небольшое значение ($E_U = 0,26$ эВ) можно сказать о наличии незначительных дефектов в полученных наноструктурах, несмотря на которые ансамбль наноструктур на поверхности кристаллов может считаться достаточно однородным.

Спустя год, в течение которого наноструктурированные кристаллы PbS подлежали хранению в воздушной среде при температуре 21 ± 2 °С и атмосферном давлении 750 ± 10 мм рт. ст. , было отмечено значительное изменение морфологии их поверхности. Ступенчатые наноструктуры сложной формы претерпели преобразование в полусферические капли, на вершинах которых наблюдалась «шапочка», из свинца Pb. Поверхностная плотность данных наноструктур не претерпела изменений, на различных участках поверхности она находилась в интервале от $5 \cdot 10^9$ см⁻² до $6 \cdot 10^9$ см⁻².

На рис. 4 показана морфология поверхности кристаллов PbS спустя 1 год после осуществления плазменного наноструктурирования кристаллов PbS.

По прошествии двух лет с момента осуществления наноструктурирования было отмечено полное разрушение ансамбля наноструктур. На поверхности кристаллов PbS наблюдалось полное отсутствие упорядоченности наноструктурных элементов микрометровых и нанометровых линейных размеров.

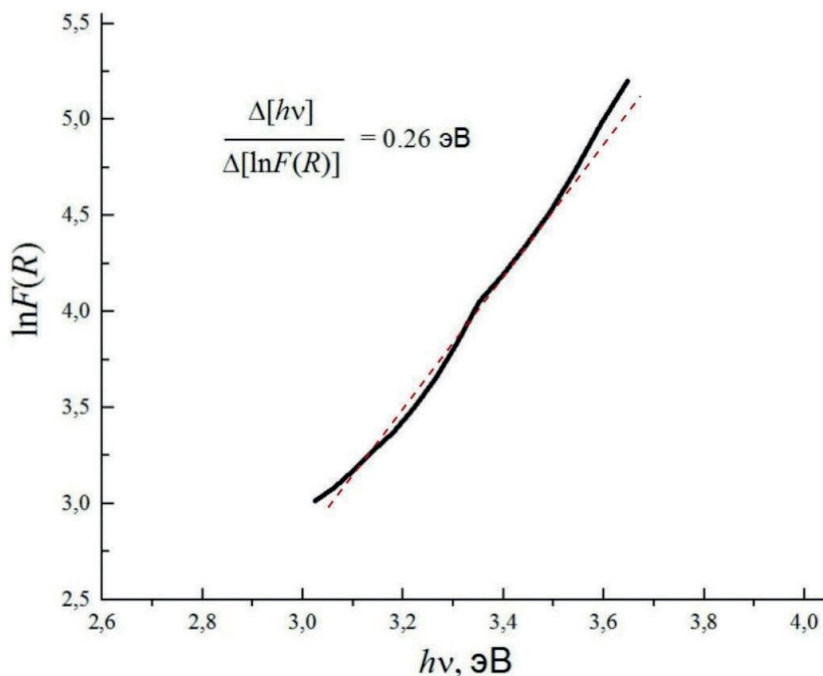


Рис. 3. Зависимость $\ln F(R)$ от энергии фотона $h\nu$ для наноструктурированной поверхности кристаллов PbS

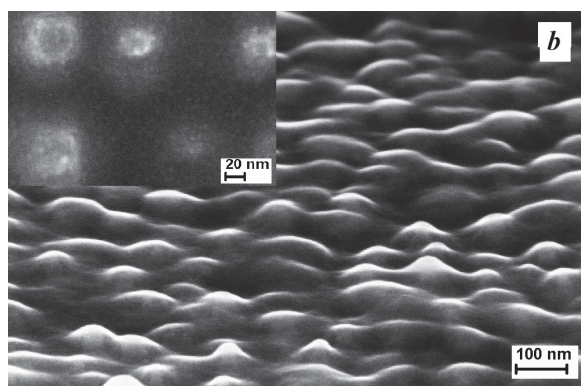


Рис. 4. Морфология поверхности кристаллов PbS спустя 1 год после осуществления плазменного наноструктурирования

Спустя год хранения коэффициент зеркального отражения R наноструктурированных кристаллов PbS не изменился в волновом диапазоне 250 нм – 450 нм, однако претерпел значительное уменьшение в волновом диапазоне, превышающем 450 нм. Это привело к образованию ярко выраженного пика, соответствующего длине волны 445 нм (рис. 5).

Спустя два года хранения было отмечено значительное уменьшение коэффициента зеркального отражения R в диапазоне длин волн, превышающем 365 нм. Это свидетельствует о деградации ансамбля наноструктур на поверхности кристаллов, а также о значительной утрате исследуемой поверхностью отражающей способности. На длине волны 365 нм образу-

ется малоинтенсивный размытый максимум (интенсивность составляет 5%), который может соответствовать сульфиду свинца PbS. Спектральная зависимость коэффициента зеркального отражения для наноструктурированной поверхности PbS близка к спектральной зависимости, полученной для плёнок PbO, рассмотренных в работе [4].

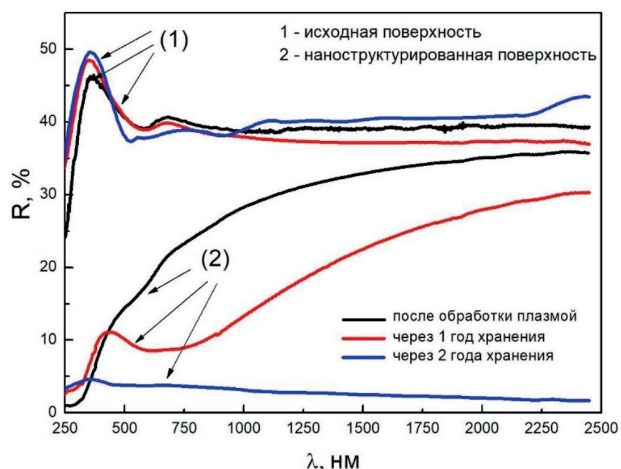


Рис. 5. Спектры зеркального оптического отражения для кристаллов PbS (через 1 год хранения и через 2 года хранения соответственно)

В качестве вывода о проведении данной работы может быть отмечено, что в атмосфере воздуха происходят активные процессы разрушения наноструктур, сформированных на поверхности кристаллов PbS методом ионно-плазменной обработки аргоновой плазмой. Данные процессы приводят к существенным изменениям оптических свойств наноструктурированной поверхности и разрушения ансамбля наноструктур данной поверхности.

Исследование проводилось в соответствии с планом научно-исследовательских работ, выполняемых профессорско-преподавательским составом в пределах основного рабочего времени (вторая половина дня).

Библиографические ссылки

1. Морфология поверхности и структурные свойства кристаллов GaTe после ионно-плазменной обработки / С. П. Зимин [и др.] // Физика твердого тела, 2023, том 65, вып. 4, С. 692–700.
2. Садовников С. И., Кожевникова Н. С., Ремпель А. А. Окисление нанокристаллического сульфида свинца на воздухе. Журнал неорганической химии 2011; 56(12): 1951–1957.
3. Влияние наноструктурирования поверхности кристаллов сульфида свинца в плазме на спектры оптического отражения / С. П. Зимин [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 2022; (2): 51–57.
4. Хемосорбция кислорода на поверхности PbS (001): квантово-химическое моделирование / А. С. Зюбин [и др.] // Журнал неорганической химии. 2008; 53: 124–130.
5. Садовников С. И., Кожевникова Н. С., Ремпель А. А. Термическая стабильность PbS – рабочего материала для высокоэффективных квантовых детекторов тепла и света. Физика и химия стекла 2009; 35 (2): 74–75.
6. Zimin S., Gorlachev E., Amirov I. Inductively Coupled Plasma Sputtering: Structure of IV-VI Semiconductors, in Encyclopedia of Plasma Technology / Ed. J. Leon // Shohet. N.Y.: Taylor and Francis Group, CRC Press, 2017; (2): 13–14.

АНАЛИЗ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ БЕЛОРУССКИХ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ О ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ И ЕЕ ПРИНЦИПАХ

А. В. Мамаев¹⁾, Т. А. Савицкая¹⁾, И. М. Кимленко¹⁾, Д. Д. Гриншпан¹⁾

¹⁾ Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», ул. Ленинградская, 14, 220006, г. Минск, Беларусь, mamaev_a06@mail.ru, grinshpan@bsu.by

Проведен опрос 9 предприятий химической промышленности Республики Беларусь относительно их осведомленности с принципами зеленой химии и внедрением зеленых химических технологий в производство. Рассмотрены основные направления деятельности предприятий в области экологизации и повышения безопасности технологических процессов с точки зрения принципов зеленой химии.

Ключевые слова: зеленая химия; химическая промышленность; устойчивое развитие.

ANALYSIS OF AWARENESS OF BELARUSIAN CHEMICAL ENTERPRISES ABOUT GREEN CHEMISTRY AND ITS PRINCIPLES

A. V. Mamaev¹⁾, T. A. Savitskaya¹⁾, I. M. Kimlenka¹⁾, D. D. Hrinshpan¹⁾

¹⁾ Research Institute for Physical Chemical Problems of Belarusian State University, Leningradskaya Str., 14, 220006, Minsk, Belarus, mamaev_a06@mail.ru, grinshpan@bsu.by

A study of nine chemical industry enterprises in the Republic of Belarus was conducted to assess their awareness of green chemistry principles and the implementation of green chemical technologies in production. The main areas of enterprise activity regarding greening and improving process safety were examined from the perspective of green chemistry principles.

Keywords: green chemistry; chemical industry; sustainable development

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-102-105>

Сегодня в мировой научной литературе и средствах массовой информации активно обсуждается экологическая повестка. С каждым годом все большее количество людей задумывается о здоровом образе жизни, ответственном потреблении и устойчивом развитии, предпочитая приобретать продукты только с маркировкой «эко-», «био-», «органик-». Вместе с тем, химическая промышленность в настоящее время является основным загрязнителем окружающей среды, поэтому неудивительно, что, согласно проводимым социологическим опросам, химия у большинства респондентов ассоциируется с такими цветами, как красный и желтый – цветами опасности.

Несмотря на сложившийся негативный имидж, особая значимость химии как в поступательном развитии мировой цивилизации, так и в повседневной жизни каждого человека не подвергается сомнению. Лекарства, новые материалы, средства защиты растений – это лишь малый перечень того, что производит химическая промышленность. Химии предстоит стать зеленой – максимально снизить отрицательное воздействие на человека и окружающую природную среду.

«Сегодня сложно переоценить значение химической и нефтехимической отрасли для экономики Беларуси» – отмечает Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко и ставит амбициозную задачу – к 2030 году «достать и положить» 30 новых видов продукции мало-

тоннажной химии. Вместе с тем, по словам Главы государства «для каждого из нас бережное отношение к окружающей среде должно стать образом мышления и нормой жизни, для держав и союзов – приоритетным направлением государственной политики». В связи с этим, развитие зеленой химии в Беларуси является актуальной задачей.

Согласно определению IUPAC, зеленая химия – это изобретение, разработка и применение химических продуктов и процессов, *уменьшающих или исключаящих* использование и образование опасных веществ. Вместе с тем, зеленая химия – это революционная философия, призванная уменьшить и предотвратить загрязнение окружающей среды [1–5]. Философия – это мировоззрение, которое может стать идеологией и, овладев массами, превратиться в материальную силу. Необходимым условием для этого является образование, ведь идеи зеленой химии нужно донести как можно большему числу специалистов-химиков. В Белорусском государственном университете успешно реализована эта концепция, а зеленая химия преподается с 2009 г.

В научной литературе рассматриваются вопросы внедрения принципов зеленой химии в промышленные производства различных стран. Например, результаты опросов российских химических предприятий свидетельствуют о том, что с понятием “зеленая химия” в своей практической или научной деятельности сталкивались только 43 % предприятий, остальные либо не имели с этим дела, либо затруднились ответить на вопрос. Среди 113 опрошенных руководителей предприятий химической и смежных отраслей штата Миннесота в США только 27 % внедрили зеленую химию, 16 % начали процесс внедрения и 61% ответили отрицательно. Таким образом, несмотря на активную популяризацию экологической повестки и целей устойчивого развития, доля внедрения зеленой химии в производственный процесс в мире, к сожалению, невелика [5].

В Республике Беларусь химическая промышленность является важнейшей промышленной отраслью. Вместе с тем, в открытом доступе отсутствует информация о внедрении в производственный процесс предприятий принципов зеленой химии. Данная информация весьма важна как в образовательном процессе для формирования у студентов представления о достижениях Республики Беларусь в области устойчивого развития (лозунг «Гордость за Беларусь»), а также понимания научным сообществом существующих проблем, которые должны стать предметом будущих исследований.

С целью изучения осведомленности специалистов белорусских предприятий о зеленой химии и ее принципах, а также достижениях в этой области, в адрес флагманов белорусской химической промышленности через государственную единую (интегрированную) систему учета и обработки обращений граждан и юридических лиц (обращения.бел) были направлены следующие вопросы:

- 1) знакомы ли специалисты Вашего предприятия с понятием «зеленая химия»?
- 2) используются ли в практической производственной деятельности Вашего предприятия принципы зеленой химии?
- 3) внедрили ли Вы какие-либо из принципов зеленой химии на Вашем предприятии?
- 4) считаете ли Вы целесообразным в будущем внедрение принципов зеленой химии на Вашем предприятии?

В докладе будет представлен анализ ответов, полученных от ОАО «Белшина», ОАО «Гомельский химический завод», ОАО «Гродно Азот», ОАО «Лакокраска», ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Могилевхимволокно», УП «Минскинтеркапс», ОАО «Полоцк-Стекловолокно», ОАО «Светлогорский ЦКК».

Все опрошенные предприятия сообщают, что их специалисты не просто знакомы с концепцией зеленой химии и ее 12 принципами, но и регулярно отслеживают отраслевые тренды в области устойчивого развития, снижения углеродного следа и экологизации химических производств.

Принципы зеленой химии – это подходы, которые должны быть основой при организации всех промышленных процессов, и в особенности химических. Принципы зеленой химии внедрены и используются в практической производственной деятельности всех опрошенных предприятий. В частности, реализованы следующие принципы:

Принцип № 1 (предотвращение образования отходов) – осуществляется эффективная загрузка производственных мощностей, минимизация пусков и остановов технологических линий, замкнутый цикл использования технологической воды. Увеличивается доля перерабатываемых и повторно используемых отходов, разрабатываются и внедряются новые технологии переработки крупнотоннажных отходов, например, фосфогипса. Успешно реализованы технологические процессы, где степень повторного использования побочных продуктов достигает 95 %.

Принципы № 3 и № 4 (менее опасные химические синтезы; безопасные вещества и продукты) – достигается путем использования материалов без токсичных полиароматических углеводородов, замены опасных красителей, например, цинковых белил; исключения из рецептур ингредиентов, образующих в процессах переработки и хранения опасные вещества (например, исключение тиурамов, образующих опасные нитрозоамины).

Принцип № 5 (более безопасные растворители и условия реакции) – реализуется замена органических растворителей на водные; проводятся лабораторные исследования по использованию крахмала вместо синтетических смол и дисперсий.

Принцип № 6 (увеличение энергоэффективности) – на производствах устанавливаются солнечные батареи, внедряются системы рекуперации тепла, образующегося в технологических процессах. Кроме этого, сжигание отходов и использование собственных паровых турбогенераторов, работающих на вторичном сырье, позволяет снизить энергопотребление и увеличить энергонезависимость.

Принцип № 7 (использование возобновляемого сырья) – активно проводится замена синтетического сырья на природное (например, исследуется возможность применения силики из золы рисовой шелухи вместо технического углерода), используются вторичные полимерные материалы (вплоть до 100 % от всех вовлекаемых в технологический процесс полимеров)

Принцип № 8 (использование катализаторов) – реализован в процессах производства аммиака и азотной кислоты, а также глубокой переработки нефти.

Принцип № 11 (анализ в реальном времени) – на предприятиях установлены системы контроля выбросов, которые входят в систему локального мониторинга Республики Беларусь.

Принцип № 12 (минимизация потенциальных аварий) – предприятия химической промышленности поступательно работают над повышением безопасности производств. Для минимизации последствий для окружающей среды устанавливаются очистные сооружения, позволяющие удалять вредные вещества из газообразных выбросов и сточных вод. Разработаны планы ликвидации аварий и действий при чрезвычайных ситуациях и стратегии устойчивого развития, которые гармонизированы со Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2030 года. Осуществляются мероприятия по минимизации и предотвращению рисков и угроз аварийности, уделяется особое внимание охране труда.

По мнению предприятий, внедрение принципов зеленой химии является не только целесообразным при планировании и осуществлении деятельности предприятия, но и реализуется в виде стратегического направления по переходу к моделям «зеленой экономики» и «циркулярной экономики». Использование этих принципов является необходимым условием долгосрочного развития предприятия, повышения конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности. В связи с этим руководство указанных предприятий и в будущем планирует осуществлять деятельность по снижению негативного воздействия на окружающую среду, соблюдению принципов «зеленой химии», а также внедрению прогрессивных и экологически безопасных технологий.

Таким образом, результаты опроса свидетельствуют об информированности предприятий о принципах зеленой химии, вместе с тем обучение будущих специалистов-химиков основам данной науки является по-прежнему актуальной задачей. Для этого необходимо дальнейшее внедрение дисциплины «Зеленая химия» в образовательные программы учреждений высшего, среднего специального и профессионально-технического образования, а также расширение преподавания зеленой химии в школах в рамках уроков химии и факультативных занятий.

Библиографические ссылки

1. Green Chemistry : Process Technology and Sustainable Development / Tatsiana Savitskaya [et al.]. – Hangzhou : Zhejiang University Press : Springer, 2022.
2. Кустов Л. М., Белецкая И. П. «Green Chemistry» – новое мышление // Российский химический журнал. 2004. №6. С. 3–12.
3. Как зеленая химия объединила БГУ и Чжэцзянский университет Шужэнь. URL: <https://belta.by/society/view/kak-zelenaja-himija-objedinila-bgu-i-chzhetszjanskij-universitet-shuzhen-598552-2023/> (дата обращения : 26.02.2026).
4. Зеленая химия. URL: <https://chemistry.bsu.by/index.php/ru/zelenaya-khimiya> (дата обращения : 24.02.2026)
5. Зеленая химия и российская промышленность / Тарасова Н. П. [и др.]// Вестник российской академии наук. 2013, Т. 83, № 11. С. 1–8.

АНАЛИЗ РЕКИ ДНЕПР ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

К. М. Мукина¹⁾, Я. Д. Матусевич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, mukina.klara@mail.ru

Цель работы – анализ гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик реки Днепр, а также использование водных ресурсов в бассейне реки. В работе дана характеристика реки Днепр на территории Республики Беларусь. Рассмотрены морфометрические параметры, гидрохимический и гидробиологический режимы, показавший рост органического загрязнения ниже крупных городов. Выполнен анализ водопользования реки за период с 2014 по 2024 год, выявивший рост промышленного водопотребления. Анализ гидрологических характеристик за последние 40 лет выявил тенденцию снижения минимальных расходов воды в периоды межени.

Ключевые слова: Общая характеристика бассейна реки Днепр; Химическая характеристика бассейна реки Днепр; Использование вод бассейна реки Днепр 2014-2024 гг; Анализ стока реки Днепр за период с 1981 по 2020 гг.

ANALYSIS OF THE DNIEPER RIVER OVER A LONG PERIOD

K. M. Mukina¹⁾, Y. D. Matusevich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, mukina.klara@mail.ru

The purpose of the work is to analyze the hydrological, hydrochemical, and hydrobiological characteristics of the Dnieper River, as well as the use of water resources in the river basin. The work provides a description of the Dnieper River in the Republic of Belarus. It examines the morphometric parameters, hydrochemical, and hydrobiological regimes, which show an increase in organic pollution downstream of large cities. The analysis of water use in the river for the period from 2014 to 2024 reveals an increase in industrial water consumption. The analysis of hydrological characteristics over the past 40 years shows a downward trend in minimum water flows during low-water periods.

Keywords: General characteristics of the Dnieper River basin; Chemical characteristics of the Dnieper River basin; Use of the Dnieper River basin in 2014-2024; Analysis of the Dnieper River flow from 1981 to 2020.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-106-110>

Общая характеристика бассейна реки Днепр. Протяжённость реки составляет около 2100 км, из которых 700 км проходят по территории Беларуси. Площадь водосборного бассейна достигает 504 тыс. км², включая 63,7 тыс. км² в пределах Беларуси (без учёта бассейна Припяти). Перепад высот на белорусском участке равен 54 м, средний уклон водной поверхности – 0,08 ‰, что указывает на равнинный характер течения.

Густота речной сети бассейна составляет 0,39 км/км², ширина долины варьируется от 0,8-3 км до Могилёва и до 10 км в пределах Гомельского Полесья. Среди притоков наблюдается значительная разнородность: от малых рек, таких как Тросенко (11 км, площадь водосбора 28 км², уклон 4 ‰), до крупных водных артерий – Сож (648 км, площадь водосбора 42 100 км², уклон 0,17 ‰) и Березина (613 км, площадь водосбора 24 500 км², уклон 0,119 ‰). Озёрная

система бассейна включает 28 озёр в Могилёвской области и 26 озёр в Гомельской области, выполняющих функцию естественных регуляторов стока [1].

Использование вод бассейна реки Днепр 2014-2024 гг. Река Днепр является важнейшим источником воды для экономики и населения. Её ресурсы используются для хозяйственно-питьевых, промышленных, сельскохозяйственных, энергетических и рекреационных целей. Для оценки нагрузки на экосистему необходим анализ объемов водопотребления по основным категориям пользователей [2].

На рис. 1 представлено использование воды в бассейне Днепра по основным секторам за 2024 год.

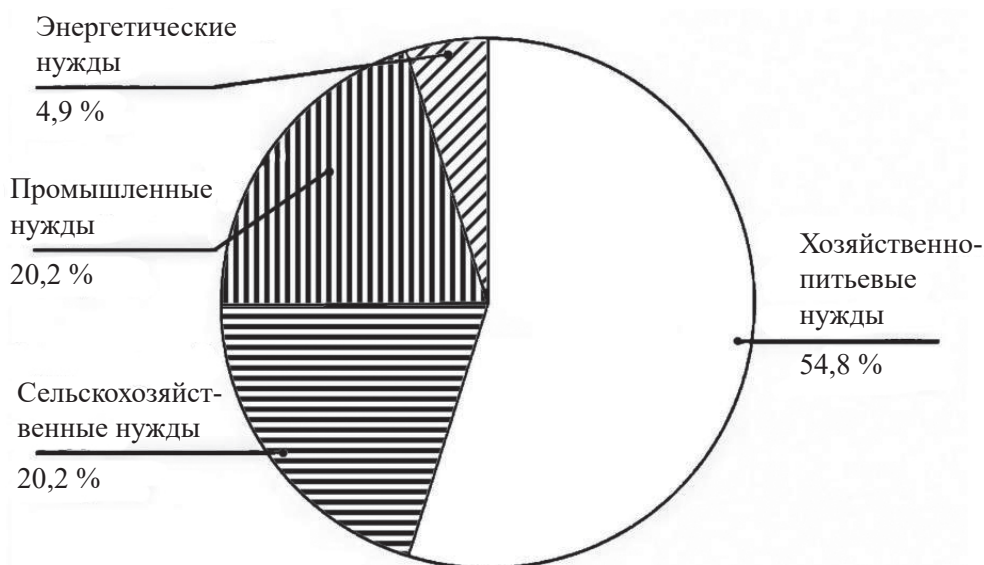


Рис. 1. Распределение использования воды в бассейне реки Днепр по основным секторам за 2024 г.

Большая доля приходится на хозяйственно-питьевые нужды (54,8 %), на сельское хозяйство 20,2% и промышленность 20,2 %. На энергетические нужды 4,9 %.

На протяжении всего рассматриваемого периода наибольшие объемы воды используются на промышленные нужды, с 2017 года, наблюдается устойчивый рост данного показателя, в среднем потребляемый объем воды увеличился на 3725,4 тыс.куб.м. (5,6 %) и ежегодный темп прироста составил 3725,4 тыс.куб.м., что свидетельствует об увеличении использования воды в промышленности.

Позитивной тенденцией является рост расхода воды, составляющей 9087,2 тыс. куб. м. и 730,5 тыс.куб.м в системах оборотного и повторного водоснабжения за последние годы соответственно. Этот показатель, в сфере оборотного водоснабжения, увеличился на 2326,9 тыс. куб.м. (0,11 %) с 2022 по 2024 гг, а в системе повторного водоснабжения на 10642,7 (52,67 %) за период с 2021 по 2024 гг, что говорит об активном внедрении ресурсосберегающих технологий, внедрении оборотных систем на промышленных предприятиях и значительном снижении использования свежей воды в технологических циклах. Средний расход воды в системах оборотного водоснабжения за период 2016-2024 годы составил 2130274,2 тыс.куб.м. и незначительно изменяется по годам. Динамика использования воды на производственные нужды представлена на рис. 2.

Хозяйственно-питьевое водоснабжение остается одним из крупнейших потребителей. Средний расход воды в хозяйственно-питьевых нуждах за период 2016-2024 годы составил 279472,1 тыс.куб.м. и незначительно изменяется по годам.



Рис 2. Использование воды на производственные нужды

Объемы воды на сельскохозяйственные нужды и для ведения рыбоводства также показывают в целом стабильные, с некоторыми колебаниями, значения, отражая устойчивый характер этой деятельности.

За десятилетний период ежегодное увеличение расходов объемов воды на сельскохозяйственные нужды составляет 3082,34 тыс.куб.м., с 2016 года объем вырос на 54608,3 тыс.куб.м, колебания объемов использования воды на сельскохозяйственные нужды объясняется водностью года, в 2016 и 2017 годах наблюдались более низкие температуры в летний период и выпадение большего количества осадков и расход воды к 2016 году снизился на 128220,95 тыс. куб.м. В период 2018-2019 год наблюдались более высокие температуры и меньшее количество осадков, что повлекло большее использование объемов воды. Ежегодно с 2016 по 2024 расходы воды росли на 122,8 тыс.куб.м.

Заметно значительное сокращение объемов воды, забираемой на производство напитков, к 2020 году, объемы на производство снизились на 648,4 тыс.куб.м (67,4%), что может быть связано с изменениями на рынке. Объем воды на производство напитков за 11 лет за период с 2014 по 2024 годы снизился с 962,2 до 443,8 тыс.куб.м. на 518,4 тыс.куб.м. (53,9%), ежегодная тенденция снижения составила 51,8 тыс.куб.м. или 5,4%.

Объемы на бутилирование, лечебные и питьевые нужды остаются на сравнительно невысоком уровне и не оказывают существенного влияния на общий водный баланс.

В целом, анализ данных за 2014-2024 гг. позволяет сделать вывод о переходе к более рациональной модели водопользования в бассейне реки Днепр. Рост промышленного производства сопровождается активным внедрением водооборотных систем, что значительно снижает прямое водозаборное давление на речную экосистему. Это указывает на повышение эффективности управления водными ресурсами и стремление к устойчивому развитию региона.

Химическая характеристика бассейна реки Днепр. Качество поверхностных вод бассейна Днепра является индикатором экологического состояния реки. На него оказывают влияние многочисленные природные и антропогенные факторы, включая промышленные и ком-

мунальные стоки, сельскохозяйственная деятельность и судоходство. Для систематической оценки уровня загрязнения и динамики изменений проводится регулярный мониторинг основных гидрохимических показателей.

Гидрохимический анализ за период 2016–2023 гг. показал стабильность кислородного режима, но выявил рост органического загрязнения ниже городских участков (Могилёв, Быхов, Речица), что свидетельствует о влиянии коммунальных и промышленных стоков. За период 2017–2023 гг. наблюдается рост показателя ХПК: на 1,37 мгО₂/дм³ (6,3 %) выше г. Могилева, 1,98 мгО₂/дм³ (8,8 %) ниже на 25,6 км; 1,25 мгО₂/дм³ (5,7 %) выше и 1,9 мгО₂/дм³ (8,4 %) ниже г. Быхова; 1,28 мгО₂/дм³ (5,7 %) выше и 0,98 мгО₂/дм³ (4,2 %) ниже г. Речицы. Среднегодовой прирост составил: 0,23–0,33 мгО₂/дм³ в районе Могилева, 0,21–0,32 мгО₂/дм³ в районе Быхова, 0,21–0,16 мгО₂/дм³ в районе Речицы.

Концентрации аммоний-иона выросли: на 0,0254 мгN/дм³ (Могилев), 0,0261 мгN/дм³ (Быхов), 0,0108 мгN/дм³ (Речица); нитрит-иона: на 0,0011 мгN/дм³, 0,0009 мгN/дм³, 0,0005 мгN/дм³ соответственно; фосфат-иона: 0,0066 мгP/дм³, 0,0025 мгP/дм³, 0,0013 мгP/дм³.

Растворённый кислород остаётся высоким: 9,41 мгО₂/дм³ (Могилев), 9,46 мгО₂/дм³ (Быхов), 9,04 мгО₂/дм³ (Речица).

В 2022–2023 гг. отмечено снижение фосфат-иона на: 0,0086 мгP/дм³ (12,18%) выше и 0,0058 мгP/дм³ (7,63 %) ниже Могилева; 0,0063 мгP/дм³ (8,92 %) выше и 0,0067 мгP/дм³ (9,15 %) ниже Быхова; 0,0045 мгP/дм³ (6,23 %) выше и 0,0056 мгP/дм³ (7,67 %) ниже года Речица [3].

В целом, гидрохимический режим реки Днепр в 2016–2023 гг. остаётся стабильным, но фиксируется антропогенная нагрузка в районах крупных городов.

Анализ стока реки Днепр за период с 1981 по 2020 гг. Анализ представленных многолетних данных о расходе воды в реке Днепр на участках у городов Могилев и Речица за период 1981–2020 годов позволяет выявить ряд устойчивых закономерностей и особенностей гидрологического режима [4].

1. Водность реки. На обоих створах наблюдается значительная изменчивость расходов воды. Среднегодовые расходы в Речице закономерно выше, чем в Могилеве, примерно на 201,7 куб. м./с. за указанный период, что объясняется увеличением водосбора реки по мере ее движения вниз по течению и впадением притоков.

2. Экстремальные явления. Максимальные расходы воды, фиксирующие пики паводков и половодий, демонстрируют высокий разброс значений. Например, в Могилеве экстремальные значения варьируются от 207 м³/с (2015) до 1080 м³/с (2013), а в Речице – от 398 м³/с (2015) до 1900 м³/с (2010) и даже 1830 м³/с (2004). Это указывает на наличие как многоводных, так и маловодных периодов, с чередованием лет, характеризующихся опасными гидрологическими явлениями (наводнениями) и периодами устойчивой межени.

3. Минимальные расходы. Средний наименьший расход за указанный период, составил 51,7 куб.м./с. в г. Могилеве и 164,5 куб.м./с. в г. Речица периода открытого русла; 68,8 куб.м./с в г. Могилеве и 197,7 куб.м./с в зимний период. Снижение составило около 60% для г. Могилев и 50% для г. Речица. Наблюдается тенденция к снижению минимальных расходов в отдельные годы, особенно в маловодный период 2014–2016 годов, которая составляет 4,3 куб.м./с. в г. Могилев и 15,7 куб.м./с. в г. Речица в период открытого русла; 14,0 куб.м./с. в г. Могилев и 48,4 куб.м./с. в г. Речица в период зимнего паводка. Аномально высокое значение расхода в 253,8 м³/с в Могилеве в 2017 году может быть связано с интенсивными зимними оттепелями или сбросами воды с вышерасположенных водохранилищ.

Заключение. Проведенный анализ гидрологических характеристик реки Днепр за многолетний период позволил сделать следующие выводы:

1) водопользование (2014–2024). Зафиксирован рост промышленного водопотребления, но при этом активно внедряются оборотные системы водоснабжения, что снижает нагрузку

на реку. Хозяйственно-питьевое водоснабжение остается основным потребителем (54,8%). В целом, за 2014-2024 гг. в бассейне наблюдается переход к более рациональной модели водопользования: рост промышленного производства сопровождается внедрением водооборотных систем, что снижает прямое давление на речную экосистему и отражает стремление региона к устойчивому развитию;

2) химический состав (2016–2023). Гидрохимический анализ за период 2016–2023 гг. показал стабильность кислородного режима, но выявил рост органического загрязнения ниже городских участков. Выросли концентрации аммоний-иона, остаётся высоким растворённый кислород. В целом, гидрохимический режим реки Днепр остаётся стабильным, но фиксируется антропогенная нагрузка в районах крупных городов (Могилев, Быхов, Речица) наблюдается рост органического загрязнения и концентраций биогенных веществ, что указывает на влияние коммунально-промышленных стоков;

3) речной сток (1981–2020). Выявлена устойчивая тенденция к снижению минимальных расходов воды в периоды межени (до 60% у Могилева и 50% у Речицы), что создает риски для экосистемы и водоснабжения в маловодные годы. Таким образом, при относительно стабильном состоянии реки фиксируется локальная антропогенная нагрузка и тенденция обмеления в меженные периоды, что требует контроля водозабора и качества сбросов. Анализ многолетних колебаний стока за период 1981-2020 гг. подтвердил наличие динамики, связанной как с климатическими изменениями, так и с хозяйственной деятельностью человека. Гидрологический режим реки Днепр в створах Могилева и Речицы характеризуется высокой изменчивостью, цикличностью водности и чередованием многоводных и маловодных фаз. Бассейн реки Днепр представляя собой сложную гидрографическую систему, обеспечивает водными ресурсами и экологическую устойчивость региона. Однако возрастающая антропогенная нагрузка, промышленность, сельское хозяйство, коммунальные стоки, приводит к ухудшению качества поверхностных вод. Наиболее проблемным участком бассейна признан Могилев и прилегающие территории, где сосредоточены крупные источники загрязнения.

Библиографические ссылки

1. Блакітны скраб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў / Маст.: Ю. А. Тарэў, У. І. Цярэнцьеў. Мн.: БелЭн, 2007. 480 с.: іл. 280, карт 239, схем 321.
2. Государственный водный кадастр. Информационная система. Раздел «Водопользование». URL: <http://195.50.7.216:8081/watstat/databasin/e7e1864b-49e5-443f-b80f-71c98e838185/>. (дата обращения: 17.11.2025).
3. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2014-2024 год). URL: <https://www.cricuwr.by/publications/archive-cadastral-information/>. (дата обращения: 15.11.2025).
4. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 3, Части 1–2. / Под ред. Л. А. Некрасова [и др.]; (1981-2020 гг.) – 343 с.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»

К. М. Мукина¹⁾, Т. М. Пинчук¹⁾

¹⁾ «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1,
220070, г. Минск, Беларусь, mukina.klara@mail.ru

В статье представлен комплексный анализ функционирования системы менеджмента окружающей среды на ОАО «Гомсельмаш». Рассмотрена структура производственного процесса и идентифицированы ключевые экологические аспекты. Оценена динамика природоохранной деятельности за 2021–2023 гг. в части охраны атмосферного воздуха, водопользования и обращения с отходами производства. Установлено, что при росте объема производства на 31,1% в 2023 году, предприятие добилось снижения валовых выбросов загрязняющих веществ на 4%, сокращения водопотребления из артезианских источников на 6,2% и снижения удельного образования отходов на 10%, что свидетельствует о повышении экологической эффективности системы менеджмента окружающей среды на предприятии.

Ключевые слова: экологический менеджмент; ISO 14001; машиностроение; выбросы в атмосферу; водопотребление; отходы производства; устойчивое развитие.

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM AT JSC GOMSELMASH

К. М. Mukina¹⁾, Т. М. Pinchuk¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1,
220070, Minsk, Belarus, mukina.klara@mail.ru

The article presents a comprehensive analysis of the functioning of the environmental management system at JSC Gomselmash. The structure of the production process is examined and the key environmental aspects are identified. The dynamics of environmental protection activities for 2021–2023 in terms of ambient air protection, water use and waste management is estimated. It was found that with a 31.1% increase in production in 2023, the company achieved a 4% reduction in gross pollutant emissions, a 6.2% reduction in water consumption from artesian sources, and a 10% reduction in specific waste generation, which indicates an increase in the environmental efficiency of the company's environmental management system.

Keywords: environmental management; ISO 14001; mechanical engineering; emissions; water consumption; industrial waste; sustainable development.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-111-115>

Введение. Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью балансировать между экономическим ростом и экологической безопасностью. Внедрение системы менеджмента окружающей среды (СМОС) в соответствии с международным стандартом ISO 14001 становится не просто инструментом соблюдения законодательства, но и фактором повышения конкурентоспособности. Машиностроительный комплекс, характеризующийся многообразием технологических процессов – от литейного производства до окраски, – оказывает значительное воздействие на все компоненты окружающей среды [5]. В связи с этим, анализ практического опыта функционирования СМОС на крупных промышленных объектах является актуальным элементом системы. Целью данной работы является анализ результа-

тивности системы менеджмента окружающей среды ОАО «Гомсельмаш» на основе динамики ключевых экологических аспектов за 2021–2023 годы.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования выступает открытое акционерное общество «Гомсельмаш» – ведущий производитель сельскохозяйственной техники. Производственная инфраструктура головного предприятия включает полный цикл: заготовительные (кузнечные, прессовые), обрабатывающие (механосборочные, термические), сварочные, окрасочные и сборочные цеха. Основными источниками воздействия являются 270 единиц кузнечного оборудования, линии сварки и окраски в корпусе КСО, котельная теплосилового цеха, а также транспортный цех.

Теоретической базой послужили стандарты СТБ ISO 14001-2017 [1], ЭкоНиП, стандарты и инструкции предприятия в области СМОС. Эмпирическую базу составили данные государственной статистической отчетности (формы 1-воздух, 1-вода, 1-отходы), «Технический отчет по инвентаризации источников выбросов», «Инструкция по обращению с отходами производства», а также «Отчет о функционировании СМОС» за 2023 год. В работе применялись методы сравнительного и системного анализа.

Общая характеристика СМОС. Система экологического менеджмента ОАО «Гомсельмаш» сертифицирована на соответствие требованиям СТБ ISO 14001. Ключевыми элементами системы являются: Экологическая политика, реестр значимых экологических аспектов, распределение ответственности, процедуры внутреннего аудита и анализа со стороны руководства, а также комплексная система подготовки персонала. Экологическая деятельность реализуется через комплекс мероприятий, охватывающих следующие ключевые направления: разработка и внедрение природоохранных мероприятий, нацеленных на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и обеспечение рационального ресурсопотребления, контроль за соблюдением установленных экологических нормативов и требований в процессе производственной деятельности, охрана атмосферного воздуха, рациональное использование и охрана водных ресурсов, организация системы обращения с отходами производства. Для целей учета и отчетности на ОАО «Гомсельмаш» разработан экологический паспорт, требования к которому установлены постановлением от 07.06.2013 № 25 [2].

На предприятии функционирует аккредитованная лаборатория Управления мониторинга окружающей среды (УМОС), осуществляющая производственный контроль.

Динамика выбросов в атмосферный воздух. Одним из ключевых направлений природоохранной деятельности на промышленном предприятии является обеспечение качества атмосферного воздуха. На ОАО «Гомсельмаш» система контроля и управления в области охраны атмосферного воздуха реализуется в строгом соответствии с требованиями законодательства Республики Беларусь и представляет собой комплексный многоуровневый процесс:

1) лабораторный контроль атмосферного воздуха. В течение 2023 года выполнялась программа аналитического контроля качества атмосферного воздуха. Контроль проводился на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и на прилегающей к предприятию территории. Лабораторные исследования включали анализ содержания следующих загрязняющих веществ: оксид углерода (СО), диоксид азота (NO₂) и твердые частицы (суммарно);

2) контроль стационарных источников выбросов и газоочистного оборудования. В соответствии с утвержденными программами осуществлялся регулярный лабораторный контроль выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников. Особое внимание уделялось контролю эффективности работы газоочистных установок (ГОУ), который проводился по аэродинамическим и химическим показателям. Эксплуатация ГОУ осуществляется в соответствии с нормативным документом ЭкоНиП 17.08.06-002-2018;

3) эксплуатация и техническое обслуживание оборудования. Для обеспечения эффективной работы систем очистки воздуха и вентиляции был реализован план планово-предупредительного ремонта на 2023 год;

4) Первичный учет и статистическая отчетность. На предприятии ведется систематический первичный учет стационарных источников выбросов и объемов загрязняющих веществ на основе документации по формам ПОД-1, ПОД-2, ПОД-3, ПОД-4.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух за 2021 – 2023 годы представлены на рис. 1.

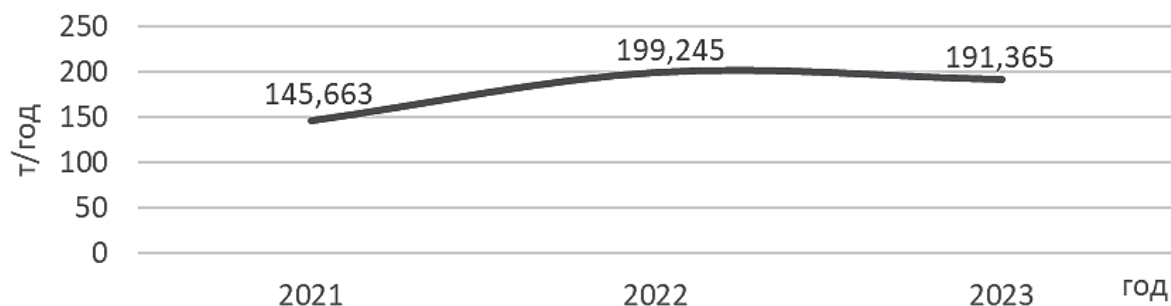


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

В 2023 году разрешенный объем выбросов загрязняющих веществ был установлен на уровне 432,3 тонны. Фактический валовой выброс составил 191,4 тонны, что на 4% ниже показателя 2022 года (199,2 тонны). Это достигнуто на фоне роста объемов производства на 31,1%. Основными факторами снижения стали: замена традиционных лакокрасочных материалов на краски на водной основе, внедрение передвижных фильтров на сварочных постах, консервация и ликвидация морально устаревших источников выбросов. Лабораторный контроль на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) превышений ПДК по оксиду углерода, диоксиду азота и твердым частицам не зафиксирован [4].

Анализ водопотребления и водоотведения. На предприятии функционирует многоуровневая система контроля качества водных ресурсов, охватывающая как водопотребление, так и водоотведение. Контроль качества питьевой воды осуществляется в соответствии с требованиями СанПиН 10-124 РБ 99 и рабочей программой производственного контроля качества воды систем центрального хозяйственно-питьевого водоснабжения на 2021-2025 годы.

В 2023 году лабораторные исследования проводились по договору с ГУ «Гомельский городской центр гигиены и эпидемиологии». Всего было отобрано и проанализировано 252 пробы воды по микробиологическим, санитарно-химическим и радиологическим показателям.

Ежемесячно результаты лабораторного контроля представлялись в контролирующие органы. Система контроля сточных вод включает регулярный аналитический контроль согласно графику

Анализ динамики водопотребления демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению (табл. 1).

Таблица 1

Динамика водопотребления на ОАО «Гомсельмаш»

Показатель	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Изменение 2023/2021, %
Добыча артезианской воды, тыс. м ³	398,4	358,9	336,6	-15,5 %
Вода от КПУП «Гомельводоканал», тыс. м ³	48,7	37,5	29,0	-40,5 %
Оборотное водоснабжение, тыс. м ³	11 588	13 127,2	14 249,4	+23,0 %

Сокращение забора свежей воды из артезианских источников на 6,2 % по сравнению с 2022 годом произошло за счет увеличения доли оборотного водоснабжения на 8,5 %. Использование воды на производственные нужды сократилось на 35 % по отношению к 2021 году, что

свидетельствует о внедрении водосберегающих технологий. Также прослеживается снижение использования воды на хозяйственно-питьевые нужды на 44,2 %. Использование воды на другие нужды уменьшилось на 35,6 % [6] (рис. 2).

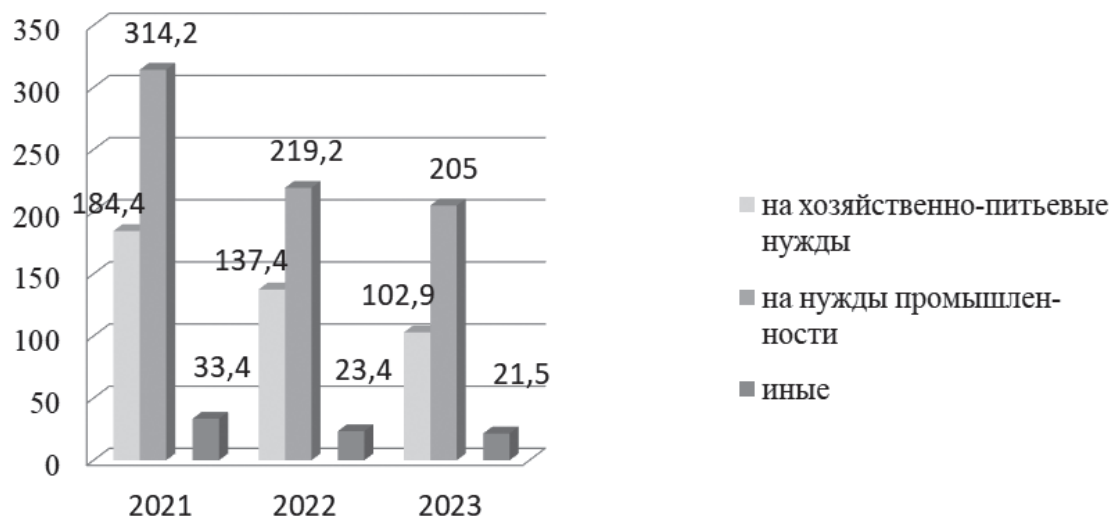


Рис. 2. Динамика водопотребления, тыс.м³

Управление отходами производства. На предприятии образуется порядка 150 видов отходов, из которых 65 относятся к III классу опасности (умеренно опасные). Ключевым результатом анализа стало выявление эффекта декаплинга (рассогласования) – при росте объемов производства (+31,1 %) и абсолютном росте массы отходов (+20,6 %), удельное образование отходов (на единицу продукции) снизилось на 10 % (табл. 2). Это означает, что предприятию удалось значительно повысить эффективность использования отходов как вторичных материальных ресурсов. Плановый показатель снижения (-5 %) был перевыполнен в два раза, что говорит о высокой результативности запланированных мероприятий по оптимизации раскроя металла и вовлечению отходов во вторичный оборот [3].

Таблица 2

Соотношение темпов производства и образования отходов

Показатель	2022 г.	2023 г.	Темп роста, %
Объем производства (базовый), %	100	131,1	+31,1 %
Образовано отходов всего, тыс. т	3,4	4,1	+20,6 %
Удельное образование отходов, %	100	90	-10,0 %

Объем отходов, переданных на использование сторонним организациям, составил 58,5 % (2400,1 т), что на 0,2 % выше уровня прошлого года. Выполнен государственный заказ по поставке лома черных металлов (18061,5 т при плане 13100 т) и макулатуры (89,9 т при плане 80 т). Вместе с тем, отмечен рост объемов захоронения отходов на 1,2 %, что требует поиска дополнительных путей утилизации трудно перерабатываемых фракций.

Заключение. Проведенный анализ показал, что система менеджмента окружающей среды ОАО «Гомсельмаш» функционирует результативно и соответствует заявленным целям. Интеграция экологических стандартов в производственные процессы обеспечила улучшение ключевых экологических параметров:

1) достигнуто снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на 4% (с 199,245 т в 2022 г. до 191,365 т в 2023 г.) при значительном росте объема производства;

2) сокращено водопотребление из артезианских источников на 6,2 % и увеличена доля использования оборотной воды на 8,5 %, что свидетельствует о внедрении принципов ресурсосбережения;

3) в области обращения с отходами, несмотря на абсолютный рост их массы в связи с увеличением выпуска продукции, достигнуто снижение удельного образования отходов на 10 %, что вдвое превысило плановый показатель (-5 %). Это доказывает повышение эффективности использования материалов и снижение интенсивности производства.

Таким образом, СМОС выступает не только инструментом соблюдения природоохранного законодательства, но и фактором повышения экономической эффективности предприятия. Дальнейшее совершенствование системы должно быть направлено на сокращение объемов захоронения отходов и поиск технологий по утилизации сложных промышленных отходов.

Библиографические ссылки

1. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению: СТБ ISO 14001-2017. Введ. 01.01.2018. Минск : Госстандарт, 2017. 32 с.

2. Отчет о функционировании системы менеджмента окружающей среды за 2023 год / ОАО «Гомсельмаш». Гомель, 2024. 43 с.

3. Инструкция по обращению с отходами производства ОАО «Гомсельмаш» : утв. заместителем генерального директора – директором ДОП-ОАО «Гомсельмаш» И. А. Панкратовым, 2023 г. / ОАО «Гомсельмаш». Гомель, 2023. 129 с.

4. Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-воздух (Минприроды)... : постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь, 30 сентября 2022 г., № 88.

5. Общая характеристика ОАО «Гомсельмаш» / ОАО «Гомсельмаш». Гомель, [б. г.]. 6 с.

6. Руководство по системе менеджмента окружающей среды ОАО «Гомсельмаш» : РК СМОС 2022 : изм. 4 / ОАО «Гомсельмаш» ; [сост.: В. А. Королев, И. И. Филипченко]. Гомель, 2022. 42 с.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ НА ОАО «БЕЛСОЛОД»

К. М. Мукина¹⁾, П. А. Хромченко¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, mukina.klara@mail.ru

В статье проанализирована система управления окружающей средой (СУОС) на ОАО «Белсолод» – единственном производителе пивоваренного солода в Беларуси. На основе данных за 2024 год проведена количественная оценка воздействия предприятия по трем направлениям. Установлено, что при водопотреблении 498,9 тыс. м³ предприятие активно использует оборотное водоснабжение (1148,6 тыс. м³). Эффективность газоочистного оборудования составляет 89%, что позволяет удерживать выбросы твердых частиц (30,8 т/год) ниже разрешенных лимитов. Более 90% отходов производства вовлекается во вторичный оборот, что подтверждает результативность СУОС.

Ключевые слова: экологический менеджмент; СТБ ISO 14001; пивоваренная промышленность; солод; выбросы; отходы; водопотребление; устойчивое развитие.

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM OF JSC BELSOLOD

К. М. Mukina¹⁾, P. A. Khromchenko¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, mukina.klara@mail.ru

This article analyzes the environmental management system (EMS) of OJSC Belsolod, the only producer of brewing malt in Belarus. Using 2024 data, a quantitative assessment of the company's impact was conducted in three areas. It was found that, with a water consumption of 498.9 thousand m³, the company actively utilizes recirculating water supply (1,148.6 thousand m³). The efficiency of the gas cleaning equipment is 89%, which keeps particulate matter emissions (30.8 tons/year) below the permitted limits. Over 90% of production waste is recycled, confirming the effectiveness of the EMS.

Keywords: environmental management; STB ISO 14001; brewing industry; malt; emissions; waste; water consumption; sustainable development.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-116-120>

Введение. Пищевая промышленность, являясь важной составляющей агропромышленного комплекса, характеризуется высокой ресурсоемкостью и значительным воздействием на окружающую среду. Для предприятий отрасли актуальным становится внедрение систем управления окружающей средой (СУОС), соответствующих международным стандартам, что позволяет не только соблюдать природоохранное законодательство, но и повышать экономическую эффективность за счет ресурсосбережения [1; 2]. ОАО «Белсолод» – уникальный объект для исследования как единственный в Беларуси специализированный производитель пивоваренного солода, входящий в концерн «Белгоспищепром». Его производственная деятельность охватывает полный цикл – от приемки и очистки ячменя до сушки и полировки готового солода, что сопровождается образованием широкого спектра экологических аспектов. Целью данной работы является анализ результативности

СУОС ОАО «Белсолод» на основе количественной оценки его воздействия на окружающую среду в 2024 году.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования является ОАО «Белсолод» (г. Иваново, Брестская область). Производственная мощность предприятия составляет 130 тыс. тонн солода в год. Технологический процесс включает стадии: приемка и очистка зерна, замачивание, проращивание, сушка, удаление ростков и полировка.

Теоретической базой послужили требования стандарта СТБ ISO 14001-2017 [3], ЭкоНиП и локальные нормативные акты предприятия. Эмпирическую базу составили данные государственной статистической отчетности, Годовой отчет о природоохранной деятельности, Руководство по СУОС, Программа по охране окружающей среды и результаты производственного экологического контроля за 2024 год [4; 5]. В работе применялись методы системного анализа, сравнения и обобщения данных.

Общая характеристика СУОС. СУОС ОАО «Белсолод» сертифицирована на соответствие СТБ ISO 14001 и охватывает все процессы производства солода. Ключевыми элементами системы являются: утвержденная Экологическая политика; идентифицированные и оцененные экологические аспекты; распределение ответственности между руководством и персоналом; документированные процедуры; система внутреннего аудита и регулярный анализ СУОС со стороны высшего руководства. Экологическая деятельность реализуется через «Программу по охране окружающей среды», включающую техническое перевооружение, ресурсосберегающие и организационные мероприятия. На предприятии функционирует система ведомственного контроля, включающая мониторинг выбросов, сбросов и обращения с отходами.

Водопотребление и водоотведение. Анализ водопотребления и водоотведения проведен за 2024 год. Источником водоснабжения является городской водопровод. Вода поступает на территорию завода по двум водопроводам диаметром 300 мм через водомерный узел в главном корпусе, заполняет два резервуара по 3000 м³ каждый, а затем насосной станцией подается в кольцевую сеть предприятия. На предприятии действуют две системы оборотного водоснабжения для холодильной станции и системы хладоносителя кондиционеров суммарной производительностью 2450 м³/час.

В 2024 году общий объем водопотребления ОАО «Белсолод» составил 526,2 тыс. м³, из которых основная часть (497,9 тыс. м³) получена из городского водопровода. Анализ структуры водопользования (табл. 1) показывает, что подавляющая часть воды (487,1 тыс. м³ или 97,8 %) направляется на производственные нужды. Важной особенностью является активное применение оборотного водоснабжения: объем оборотной воды (1148,6 тыс. м³) более чем в 2,3 раза превышает забор свежей воды из городской сети, что свидетельствует о высокой эффективности использования водных ресурсов.

Таблица 1

Основные показатели водопотребления и водоотведения в 2024 г.

Показатель	Получено свежей воды, всего	На производственные нужды	На хозяйственно-питьевые нужды	Использовано оборотной воды	Безвозвратные потери	Передано сточных вод (коммунальная канализация)	Сброс в поверхностные воды (р. Струга)
Значение, тыс.м ³	497,9	487,1	10,9	1148,6	118,4	379,6	28,3

При этом безвозвратные потери составили 118,4 тыс. м³, что указывает на резерв для дальнейшего совершенствования водосберегающих технологий. Сброс ливневых вод в реку Струга осуществляется через два выпуска в объёме 28,3 тыс. м³ в год, что составило 36,7 % от разрешенного годового лимита (77,2 тыс. м³). Однако зафиксирован сброс 1,6 тыс. м³ вод с превышением нормативов по выпуску №1, что требует дополнительного контроля работы очистных сооружений ливневой канализации.

Выбросы в атмосферный воздух. На предприятии насчитывается 117 стационарных источников выбросов, из которых 90 оснащены газоочистными установками (ГОУ). Анализ данных за 2024 год (табл. 2) демонстрирует высокую эффективность работы ГОУ: на очистку поступило 277,8 тонн загрязняющих веществ, из которых уловлено и обезврежено 247,3 тонны, что соответствует эффективности 89 %.

Таблица 2

**Показатели выбросов загрязняющих веществ
в 2024 г., тонн**

Показатель	Поступило загрязняющих веществ на ГОУ	Уловлено и обезврежено	Фактический выброс, всего	в том числе: твердые частицы	азота (IV) оксид	углерод окись
Всего	277,8	247,3	48,5	30,8	14,04	1,9

Фактический валовой выброс составил 48,5 тонн. Основной вклад вносят твердые частицы (30,8 т/год или 63,5 %). Значительную долю также составляют оксиды азота: азота (IV) оксид – 14,1 тонн и азота (II) оксид – 1,9 тонн. Выбросы диоксида серы в отчетном периоде не зафиксированы, а оксида углерода – составили 1,9 тонн. Важно отметить, что разрешенный объем выброса твердых частиц установлен на уровне 115,2 тонн, что почти в 4 раза выше фактического значения. Это свидетельствует о значительном резерве мощностей и эффективной работе пылеулавливающего оборудования. В отчетном году были выполнены мероприятия по повышению эффективности ГОУ, что позволило дополнительно сократить выбросы на 2,5 тонны, превысив плановый показатель (2,0 тонны). Превышений ПДК на границе санитарно-защитной зоны не зафиксировано.

Управление отходами производства. Система обращения с отходами на предприятии построена на принципах раздельного сбора и максимизации вовлечения отходов в хозяйственный оборот. Ключевыми крупнотоннажными отходами являются зерновые отходы, дробина и солодовые ростки, которые практически полностью реализуются как вторичное сырье. Объем отходов, направленных на захоронение, крайне мал (около 1 %) и представлен в основном шламом и отходами, подобными коммунальным. Опасные отходы (1-го и 3-го классов) в полном объеме передаются специализированным организациям для обезвреживания. На конец года на временном хранении находилось 1639 тонн неопасных отходов, что обусловлено технологическим циклом их вывоза.

Анализ движения отходов (табл. 3) показывает, что при образовании свыше 10,7 тыс. тонн отходов, подавляющая их часть (более 90 %) передается сторонним организациям для использования. Дробина солодовая: образовано 1 971,04 тонны, передано на использование 1 383,9 тонн. Отходы солода (ростки): образовано 2 560,3 тонн, передано на использование 1 341,04 тонны.

Опасные отходы учитываются и передаются на обезвреживание в полном объеме: люминесцентные трубки (1 класс опасности) 262 штуки; свинцовые аккумуляторы (1 класс опасности) 0,409 тонны; отработанные масла (3 класс опасности) 0,4 тонны.

Основные показатели обращения с отходами в 2024 г.

Показатель	Значение
Образовано отходов, всего, тонн	10 700
Передано для использования, тонн	9 614 (90%)
Отходы зерновые	1 983,2
Дробина солодовая	1 383,9
Отходы солода (ростки)	1 341,0
Направлено на захоронение, тонн	108,9 (1%)
Шлам и осадок пивоваренного производства	75,3
Опасные отходы, переданные на обезвреживание	
Люминесцентные трубки, шт.	262
Свинцовые аккумуляторы, тонн	0,4
Масла отработанные, тонн	0,6

На захоронение было направлено всего 108,9 тонн отходов, что составляет около 1 % от общего объема образования. Основными видами, направляемыми на полигоны, являются: шлам и осадок пивоваренного производства 75,3 тонн.; отходы, подобные коммунальным 32,2 тонны; отходы продуктов питания 1,5 тонны.

Заключение. На предприятии ОАО «Белсолод» внедрена и функционирует система управления окружающей средой (СУОС), соответствующая стандарту СТБ ISO 14001. Сфера действия данной системы распространяется на процесс производства солода. Руководство по СУОС разработано в соответствии с положениями СТБ ISO 14001 и определяет требования к системе, обеспечивающей управление экологическими аспектами и повышение экологической эффективности предприятия. Руководство служит базовым документом СУОС, описывающим систему, обеспечивающим ее функционирование и постоянное совершенствование. Основные функции Руководства: изложения экологической политики и целей в области охраны окружающей среды; описания СУОС организации; обеспечения взаимодействия процедур руководства по СУОС; обеспечения документированной основы для внутренних аудитов; обучения персонала требованиям СУОС; подготовка персонала, занятого разработкой и внедрением СУОС и методов оценки ее соответствия; обеспечения функционирования СУОС, создания основы для непрерывных улучшений; демонстрации соответствия СУОС организации требованиям СТБ ISO 14001; демонстрации результативности СУОС всем заинтересованным сторонам.

Проведенный анализ показал, что система управления окружающей средой ОАО «Белсолод» функционирует результативно и соответствует требованиям СТБ ISO 14001. Интеграция экологических аспектов в производственные процессы позволяет предприятию достигать следующих результатов:

1) в области водопользования обеспечивается высокий уровень ресурсосбережения за счет использования оборотного водоснабжения, объем которого (1148,6 тыс. м³) более чем в 2,3 раза превышает забор свежей воды из городского водопровода (497,9 тыс. м³). Это свидетельствует о внедрении замкнутых циклов и снижении нагрузки на городские системы водоснабжения. Доля производственных нужд в структуре водопотребления составляет 97,8 % (487,1 тыс. м³), что характерно для предприятий пищевой промышленности с интенсивным водопользованием на технологические цели. Выявленный резерв снижения безвозвратных потерь (118,4 тыс. м³) определяет направление для дальнейшего совершенствования – внедрение дополнительных систем учета и регулирования расхода воды на отдельных технологических участках, а также модернизацию оборудования для минимизации утечек и испарения;

2) благодаря эффективной работе газоочистного оборудования (89% улавливания) фактические выбросы загрязняющих веществ составляют всего 48,5 т/год при разрешенном лимите 149,3 т/год. Особенно показательной является ситуация с твердыми частицами: при разрешенном объеме выброса 115,2 т/год фактический выброс составляет лишь 30,8 т/год, что в 3,7 раза ниже установленного норматива. Это подтверждает высокую экологическую эффективность производства и наличие значительного запаса производственных мощностей газоочистного оборудования. Реализация природоохранных мероприятий (затраты 1345 руб.) обеспечила дополнительное снижение выбросов на 2,5 т, что превысило плановый показатель (2,0 т) и демонстрирует результативность инвестиций в природоохранную деятельность;

3) система обращения с отходами демонстрирует последовательную приверженность принципам экономики замкнутого цикла: из более чем 10 700 т образованных отходов 9614 т (около 90 %) передано специализированным организациям для использования в качестве вторичного сырья. Крупнотоннажные отходы – зерновые отходы (3030,9 т), дробина солодовая (1971,0 т) и отходы солода (ростки) (2560,3 т) – практически в полном объеме реализуются для дальнейшего использования, что предотвращает их захоронение и возвращает ценные компоненты в хозяйственный оборот. Захоронению подвергается лишь около 1% от общего объема образования (108,9 т), преимущественно это шлам и осадок пивоваренного производства, не подлежащие дальнейшей переработке. Опасные отходы 1-го класса (люминесцентные трубки, свинцовые аккумуляторы) и 3-го класса (отработанные масла) утилизируются с соблюдением всех нормативных требований через передачу специализированным организациям, что исключает риск негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Библиографические ссылки

1. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-ХІІ // Эталонный банк данных правовой информации Респ. Беларусь [Электронный ресурс].

2. *Лопачук, О. Н.* Экологический менеджмент: учеб. пособие / О. Н. Лопачук. 2-е изд., стер. Минск: БГЭУ, 2020. 409 с.

3. Системы менеджмента окружающей среды. Требования и руководство по применению: СТБ ISO 14001-2017. Введ. 01.07.2017. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. 37 с.

4. Годовой отчет о природоохранной деятельности ОАО «Белсолод» за 2024 год. Иваново: ОАО «Белсолод», 2025. 65 с.

5. Руководство по системе управления окружающей средой ОАО «Белсолод». Иваново: ОАО «Белсолод», 2023. 41 с.

ФИЗИКО-ИНФОРМИРОВАННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ

Е. А. Николаенко¹⁾, П. К. Шалькевич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nikolaenko@iseu.by

Рассматриваются проблемы численного моделирования, особенности и преимущества применения физико-информированных нейронных сетей применительно к задачам моделирования миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах. Описывается методология и архитектура физико-информированных нейронных сетей. Приводится сравнение классических подходов (МКЭ, МКР) решения дифференциальных уравнений, описывающих процессы переноса загрязняющих веществ в природных дисперсных средах с нейросетевыми технологиями.

Ключевые слова: физико-информированные нейронные сети; моделирование миграции загрязняющих веществ; традиционные численные методы; функция потерь; автоматическое дифференцирование.

PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS FOR MODELING POLLUTANT MIGRATION IN NATURAL DISPERSED MEDIA

Е. А. Nikolaenko¹⁾, P. K. Shalkevich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nikolaenko @ ise.u.by

This article examines the problems of numerical modeling, the features, and advantages of using physics-informed neural networks to model pollutant migration in natural dispersed media. The methodology and architecture of physics-informed neural networks are described. A comparison between classical approaches (FEM, FDM) for solving differential equations describing pollutant transport processes in natural dispersed media and neural network technologies is made.

Keywords: physics-informed neural networks; pollutant migration modeling; traditional numerical methods; loss function; automatic differentiation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-121-124>

Ведение. Моделирование параметров миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах является сложной задачей вследствие высокой гетерогенности таких сред, а также многообразия и сложности физических процессов, определяющих механизмы переноса и трансформации загрязнителей. Кроме того, решение обозначенной задачи осложняется тем, что экспериментальные данные о концентрациях загрязняющих веществ носят фрагментарный и зашумленный характер, тогда как ключевые параметры переноса – коэффициенты диффузии, скорости фильтрации и параметры сорбции – либо неизвестны, либо характеризуются выраженной пространственной неоднородностью. В этих условиях применение классических численных методов, таких как метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей (МКР), требует решения обратных задач параметрической идентификации либо введения упрощающих предположений, что снижает достоверность прогноза миграции загрязнителей [1]. Таким образом, моделирование ми-

миграции загрязняющих веществ в почве характеризуется сочетанием не только сложности физических процессов переноса веществ, но и ограниченным набором экспериментальных данных. Все это способствует развитию принципиально новых подходов к решению задач моделирования миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах [2]. Одним из таких подходов является разработка моделей на основе применения нейронных сетей, в частности, ориентированных на учет смыслов, связанных с условиями задачи физических процессов.

Проблемы численного моделирования миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах. Математическим фундаментом описания природных процессов, происходящих в природных дисперсных средах, являются дифференциальные уравнения в частных производных [3]. Так, например, для описания пространственно-временной эволюции концентрации веществ часто применяется уравнение адвекции-диффузии-реакции [2]:

$$\beta u_t + \nabla \cdot (Vu - D\nabla u) = \sigma(u),$$

где $u(x, t)$ – концентрация растворенного вещества; β – коэффициент пористости, связанный с производной по времени; V – скорость адвекции (эффективная скорость потока); D – коэффициент дисперсии или диффузии; $\nabla \cdot (Vu - D\nabla u)$ – пространственный оператор, представляющий собой линейный оператор адвекции-диффузии; $\sigma(u)$ – нелинейный член реакции, который может быть использован для моделирования широкого спектра физических и химических процессов.

В условиях физической неравновесности применяется МММ (mobile-immobile media) подход – модель переноса веществ в пористых средах с разделением на подвижную (u) и неподвижную (v) фазы [3]:

$$\{\beta_0 u_t + \nabla \cdot (Vu - D\nabla u) = \lambda(v - u) \beta_1 v_t = -\lambda(v - u),$$

где $u(x, t)$ – концентрация растворенного вещества в подвижной фазе среды; $v(x, t)$ – концентрация растворенного вещества в неподвижной фазе; β_0, β_1 – пористость (объемные доли) подвижной и неподвижной зон соответственно; V – эффективная скорость потока; D – коэффициент дисперсии/диффузии; λ – коэффициент переноса, определяющий скорость обмена веществом между фазами (предполагается постоянным в пространстве и времени).

Традиционные численные методы решения представленных уравнений сталкиваются с «проблемой сетки», где генерация расчетной области для многослойных дисперсных сред становится трудоемким процессом, а аппроксимация производных вносит неустрашимые ошибки дискретизации [2]. Более того, классические алгоритмы не позволяют без потерь интегрировать в модель зашумленные полевые данные. Решение обратных задач – например, восстановление λ или V по разрозненным измерениям – в традиционной постановке требует многократного решения прямой задачи (например, методами сопряженных состояний), что делает их применение ограниченным в системах с недостаточными вычислительными ресурсами [4].

Ключевым инструментом преодоления этих трудностей стали физико-информированные нейронные сети (Physics-informed neural networks – PINN). В отличие от стандартного машинного обучения, выступающего в роли «черного ящика», PINN интегрируют фундаментальные физические законы непосредственно в нейросеть на уровне ее архитектуры, что позволяет обеспечить физическую согласованность модели. Использование PINN также позволяет преодолеть «проклятие размерности» и эффективно работать с зашумленными или неполными данными, превращая дифференциальные уравнения в направляющий вектор обучения нейронной сети [5].

Методология PINN и ее преимущества. Физико-информированные нейронные сети (PINN) символизируют собой переход к парадигме научного машинного обучения, в которой нейросеть аппроксимирует решение дифференциальных уравнений в непрерывном пространстве-времени. Входными данными сети являются координаты (x, y, z) и время (t) , а выходом – искомая концентрация u $NN(x, t; \theta)$.

Обучение PINN строится на минимизации композитной функции потерь L , объединяющей данные и физические ограничения:

$$L = \omega_1 L_{PDE} + \omega_2 L_{data} + \omega_3 L_{IC} + \omega_4 L_{BC}$$

где L – общая величина ошибки, которую нейронная сеть стремится минимизировать в процессе обучения; L_{PDE} – невязка основного дифференциального уравнения. Этот член штрафует сеть за несоблюдение физического закона в расчетных точках (точках коллокации) внутри области. Для его вычисления используется автоматическое дифференцирование (АД); L_{data} – ошибка расхождения с известными экспериментальными или синтетическими данными. Этот член важен для решения обратных задач или когда доступны частичные измерения внутри области; L_{IC} – ошибка начальных условий. Гарантирует, что решение в момент времени $t=0$ соответствует заданному состоянию системы; L_{BC} – ошибка граничных условий. Обеспечивает соблюдение ограничений на границах расчетной области (например, условия Дирихле или Неймана); веса $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ используются для балансировки различных компонентов функции потерь. Это критически важно, так как разные части уравнения могут иметь разные масштабы и скорости сходимости [5].

Эта формула представляет собой общую функцию потерь для физико-информированных нейронных сетей. Она превращает задачу решения дифференциальных уравнений в задачу оптимизации, где нейронная сеть одновременно пытается соответствовать имеющимся данным и соблюдать физические законы

Важнейшим механизмом методологии PINN является автоматическое дифференцирование, которое позволяет вычислять производные без использования расчетной сетки.

Описанная математическая формулировка позволяет PINN работать в двух режимах:

- режим прямой задачи, при котором параметры λ известны, и сеть обучается находить неизвестное решение $u(x, t)$.
- режим обратной задачи, при котором на основе имеющихся данных наблюдений за u сеть одновременно находит и решение, и неизвестные параметры физического закона λ .

Несмотря на многолетнюю историю применения классических численных методов, они имеют ограничения при работе с нерегулярной геометрией и обратными задачами [3].

PINN представляют собой гибридный подход, объединяющий преимущества физической точности традиционных методов с гибкостью и мощностью нейронных сетей. В отличие от МКЭ/МКР, PINN не требуют ручного построения сетки, что делает их незаменимыми для задач с криволинейной геометрией и в высокоразмерных пространствах. Главное преимущество PINN перед классическими методами – способность эффективно внедрять экспериментальные данные (например, зашумленные измерения) непосредственно в процесс решения уравнения. Хотя обучение PINN может занимать больше времени, чем один расчет МКЭ, предобученные модели (мета-PINN) [7] позволяют получать решения для новых параметров системы за минимальное количество времени.

Заключение. Физико-информированные нейронные сети (PINN) представляют собой подход, позволяющий объединить физическую модель переноса и экспериментальные данные в рамках единой оптимизационной задачи. В отличие от моделей, основанных только на экспериментальных данных, PINN явно включает уравнения переноса загрязняющих веществ и соответствующие граничные и начальные условия в функцию потерь, что обеспечивает со-

блюдение законов сохранения массы и физическую согласованность решения во всем расчетном пространстве, включая области, не покрытые измерениями.

Для сложных процессов, где необходимо одновременное уточнение параметров среды и прогнозирование переноса, преимущества PINN становятся решающими при выборе подходов моделирования.

Библиографические ссылки

1. Компьютерное моделирование миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах / С. П. Кундас [и др.]. Минск, 2011. 212 с.

2. Кошелев К. Б., Стрижак С. В. Применение физически-обоснованной нейронной сети на примере моделирования гидродинамических процессов, допускающих аналитическое решение // Труды ИСП РАН. 2023. Т. 35, вып. 5. С. 245–258.

3. Berardi M., Difonzo F. V., Icardi M. Inverse Physics-Informed Neural Networks for transport models in porous materials // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2025. Vol. 435. Art. 117628.

4. Physics-informed neural networks (PINNs) for fluid mechanics: A review / S. Cai [et al.] // Acta Mechanica Sinica. 2021. Vol. 37, iss. 12. P. 1727–1738.

5. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // Journal of Computational Physics. 2019. Vol. 378. P. 686–707.

6. Scientific Machine Learning through Physics-Informed Neural Networks: Where we are and What's next / S. Cuomo [et al.] // Journal of Scientific Computing. 2022. Vol. 92. Art. 88.

7. Physics-Informed Neural Networks: A Review of Methodological Evolution, Theoretical Foundations, and Interdisciplinary Frontiers Toward Next-Generation Scientific Computing / Z. Ren [et al.] // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, iss. 14. Art. 8092.

ECO-EFFICIENCY OF USING COMPOSITE BIOFUEL

A. I. Rodzkin¹⁾, A. V. Zelianukha²⁾

¹⁾ *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, aleh.rodzkin@rambler.ru*

²⁾ *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus, z_elena80@mail.ru*

This article demonstrates the environmental efficiency of using composite biofuel based on milled lowland peat and biomass (plant waste). The results of experimental studies and computer modeling demonstrate that increasing the proportion of the biocomponent in the fuel mixture leads to reduced fuel ash content, lower specific particulate matter emissions, and decreased particulate concentrations in the ground layer of the atmosphere. The greatest environmental benefit is achieved with composite biofuels containing a higher proportion of biomass.

Keywords: composite biofuel; peat; biomass; crop waste; particulate emissions; pollution modeling; fuel ash content.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНОГО БИОТОПЛИВА

О. И. Родькин¹⁾, Е. В. Зеленуха²⁾

¹⁾ *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, aleh.rodzkin@rambler.ru*

²⁾ *Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, z_elena80@mail.ru*

В статье обосновывается экологическая эффективность использования композитного биотоплива на основе торфа фрезерного низинного и биомассы (растительных отходов). Представлены результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования, которые показали, что увеличение доли биокompонента в топливной смеси приводит к снижению зольности топлива, уменьшению удельных выбросов твердых частиц и уменьшению их концентрации в приземном слое атмосферы. Наибольший экологический эффект достигается при использовании композитного биотоплива с большей долей биомассы.

Ключевые слова: композитное биотопливо; торф; биомасса; отходы растениеводства; выбросы твердых частиц; моделирование загрязнения; зольность топлива.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-125-128>

An important component of the fuel and energy balance of the Republic of Belarus is the use of local kinds of fuels, among which peat plays a significant role. However, burning peat is associated with pollutant emissions, especially particulate matter, that creates a load on the atmosphere. One of the possible ways to solve this problem is seen the modification of the fuel base by producing composite biofuel. Adding plant biomass to peat allows not only to improve the environmental performance of combustion but also contributes to the decarbonization of the energy sector as well as allows the integration of the recycled wastes of the agricultural sector.

Milled lowland peat is considered as the basic component of the composite biofuel. Its choice is based on the significant resource base in the Republic of Belarus and well-established

mining technologies. Additional components include various types of biomass, which are defined as waste of plant origin. Significant resource potential is concentrated in the wastes from agricultural sector: byproducts from flax processing (flax shive), straw from grain crops and rapeseed, as well as waste from wood processing (sawdust) and fast-growing wood. The energy utilization of these wastes contributes to maintaining the carbon balance (decarbonization), as the carbon dioxide (CO₂) released during combustion is part of the biological carbon cycle accumulated by plants.

The key indicator influencing the formation of particulate matter emissions during combustion is the ash content of the fuel. A comparative analysis of the average values of the ash content of biofuel components shows that the ash content of peat significantly exceeds this indicator of all types of biomass.

It has been experimentally established that the addition of biomass to peat makes it possible to proportionally reduce the total ash content of composite biofuel (Table).

Ash content of composite solid biofuel based on milled lowland peat

Name of the component of the composite fuel based on milled lowland peat	Proportion of biomass in composite fuel, %				
	10	20	30	40	50
	Ash content, %				
Fast-growing wood for fuel purposes	8.37	7.74	7.11	6.48	5.85
Sawdust for fuel purposes	8.16	7.32	6.48	5.64	4.80
Flax shive for fuel purposes	8.35	7.70	7.05	6.40	5.75
Wastes from agricultural sector, including rapeseed straw and grain straw	8.40	7.80	7.20	6.60	6.00

As follows from Table 1, the addition of all the studied types of biomass to the composition of peat fuel logically leads to a decrease in its total ash content compared with the initial peat. The most pronounced effect is observed with the maximum proportion of the biocomponent (50 %): the ash content decreases to values of 4.80–6.00 %, depending on the type of biomass.

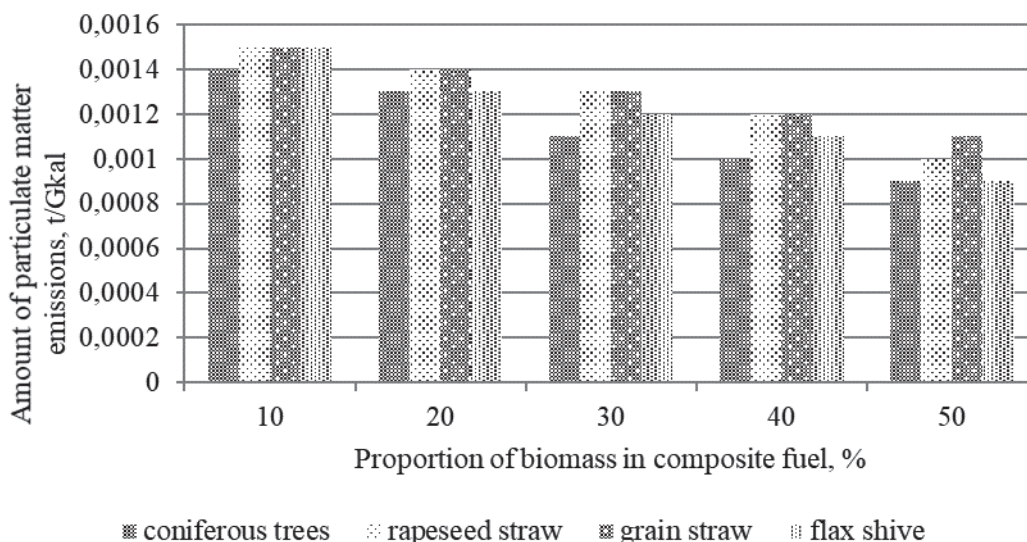


Fig. 1. Specific emissions of particulate matter when using composite biofuel with different proportions of biomass

Calculations show that an increase in the proportion of biomass in the composite from 10 wt. % up to 50 wt. % allows to reduce the specific emissions of particulate matter in the range from 26.7 %

to 40.0 % (Fig. 1). The greatest environmental efficiency (40 % reduction) is achieved when using composite (peat:flax shive).

The most illustrative confirmation of the environmental efficiency of using composite biofuel is the results of modeling the dispersion of pollutants performed in the «Ecologist» software package. The simulation was carried out for three variants of the composition of composite biofuel with a biomass content of 25 %, 50% and 75 %.

The simulation results (Fig. 2) demonstrate a consistent pattern: with an increase in the proportion of biomass in the composite, the concentration of particulate matter in the ground layer of the atmosphere decreases at all considered distances from the source of emissions (250 m, 300 m, 350 m, 500 m).

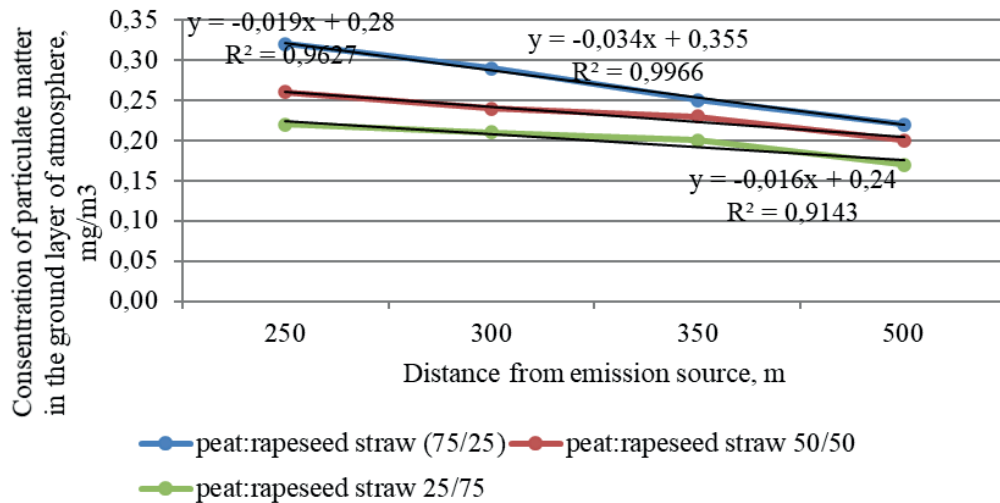


Fig. 2. Concentration of particulate matter in the ground layer of atmospheric air at different distances from the emission source when using a composite with different proportions of rapeseed straw

The effectiveness of predicting the concentration of particulate matter in the ground layer of the atmosphere, taking into account the results obtained during research based on the «Ecologist» program, is confirmed by high determination coefficients.

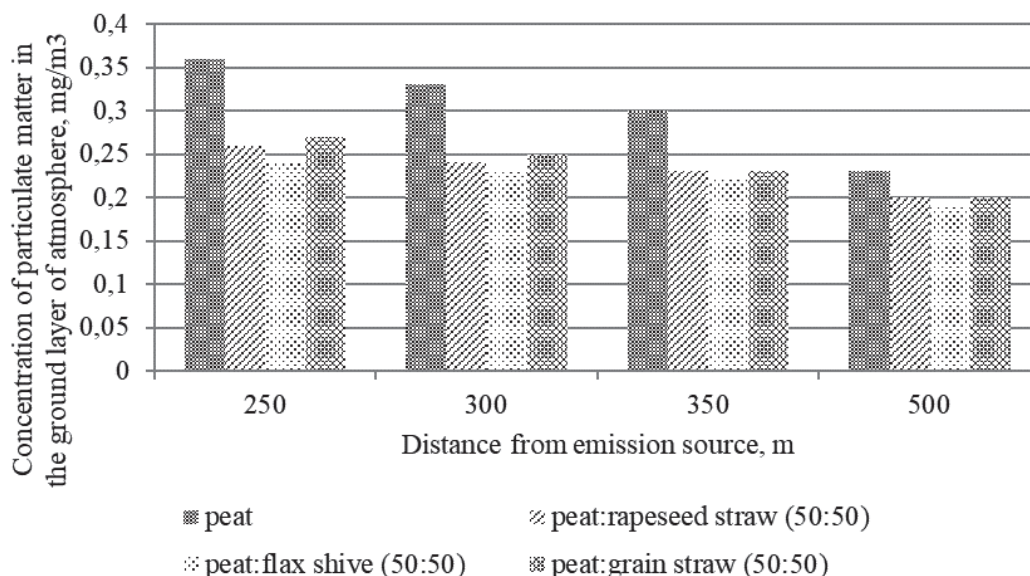


Fig. 3. Concentration of particulate matter in the ground layer of atmospheric air at different distances from the emission source (portion of biomass in composite 50 %)

The highest concentration of particulate matter in the ground layer of atmospheric air at all distances from the emission source is observed when using peat as a fuel. The addition of various types of biomass (rapeseed straw, flax shive, grain straw) to peat helps reduce particulate matter emissions. For example, the use of a peat:biomass composite (75:25) leads to a reduction in particulate matter concentration by 8.3 %-13.9 % (at a distance of 250 m from the emission source); at a distance of 500 m, by 4.3 %-8.7 %.

Increasing the proportion of biomass in the composite to 50% by weight (peat:biomass (50:50)) leads to a decrease in the concentration of particulate matter in the ground layer of atmospheric air by 25.0 %-33.3 % (at a distance of 250 m from the emission source); at a distance of 500 m – by 13.0 %-17.4 % (Fig. 3).

Thus, an increase in the mass fraction of plant-based feedstock in composite biofuel (with milled lowland peat predominating) correlates with a reduction in particulate matter emissions. This factor specifies not only the reduction of the concentration of dust particles in the lower layers of atmosphere but also the reduction of their dispersion radius from the emission source.

The utilization of composite biofuel represents a comprehensive solution that allows to balance between the necessity for energy from local resources and the necessity to preserve a healthy and favorable environment.

Библиографические ссылки

1. Родькин О. И., Зеленуха Е. В. Использование отходов растениеводства в качестве компонентов композитного топлива. Сборник материалов 23-й международной научной конференции «Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века». Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2023. Т.2. С. 233–236.

2. ТКП 17.08-01-2006 Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт, Минск, 2006. 52 с.

3. Родькин О. И., Зеленуха Е. В. Использование композитного топлива как фактор снижения нагрузки на окружающую среду. Сахаровские чтения – 2025: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings – 2025: environmental problems of the XXI century: материалы 25-й Междунар. науч. конф., 22–23 мая 2025 г., Респ. Беларусь, Минск. В 2 ч. Ч. 2 / Беларус. гос. ун-т; Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Беларус. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2025. С. 212–215.

4. Родькин О. И., Зеленуха Е. В. Оценка перспективы снижения экологического воздействия на окружающую среду при использовании биотоплива. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию создания факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ «География, экология, туризм: новые горизонты исследований», г. Воронеж, 2024. С. 82–87.

ВКЛАД ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ЭМИССИЮ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

О. И. Родькин¹⁾, И. И. Полоз²⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, aleh.rodzkin@rambler.ru

²⁾ Государственное научное учреждение «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», ул. Академика Купревича, д. 10, комн. 507, 220141, г. Минск, Беларусь, uira@list.ru

В статье представлен комплексный анализ вклада полигонов твердых коммунальных отходов в эмиссию парниковых газов. Рассмотрены современные мировые данные, свидетельствующие о возможном превышении официальных оценок выбросов метана на 40–100%. Дана оценка текущей ситуации в Республике Беларусь. Сектор «Отходы» обеспечивает 6,56% национальных выбросов, при этом полигоны твердых коммунальных отходов вносят основной вклад в эмиссию метана (47,71% от выбросов сектора). Сформулированы рекомендации по совершенствованию системы учета и снижению выбросов, включая проведение натурных замеров, разработку национальных коэффициентов эмиссии и внедрение раздельного сбора органических отходов.

Ключевые слова: парниковые газы; полигоны ТКО; метан; закись азота; сектор «Отходы»; Парижское соглашение; МГЭИК

CONTRIBUTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS TO GREENHOUSE GAS EMISSIONS

A. I. Rodzkin¹⁾, I. I. Poloz²⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, 23/1 Dolgobrodskaya Street, 220070, Minsk, Belarus, aleh.rodzkin@rambler.ru

²⁾ State Scientific Institution “The Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus”, 10 Akademika Kuprevicha Street, office 507, 220141 Minsk, Belarus uira@list.ru

The article presents a comprehensive analysis of the contribution of municipal solid waste (MSW) landfills to greenhouse gas emissions. Current global data are reviewed, indicating a possible exceedance of official methane emission estimates by 40–100%. An assessment of the current situation in the Republic of Belarus is provided. The “Waste” sector accounts for 6.56% of national emissions, with municipal solid waste landfills being the main contributor to methane emissions (47.71% of the sector’s emissions). Recommendations for improving the accounting system and reducing emissions are formulated, including conducting field measurements, developing national emission factors, and introducing separate collection of organic waste.

Keywords: greenhouse gases; MSW landfills; methane; nitrous oxide; Waste sector; Paris Agreement; IPCC.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-129-133>

Проблема изменения климата остается одной из наиболее острых глобальных вызовов современности. Ежегодно во всем мире в атмосферу выбрасывается порядка 50 млрд т CO₂-эквивалента. Львиная доля всех мировых выбросов – 73,2 % приходится на сферу энергетики. Еще

18,4% дают сельское хозяйство, лесо- и землепользование. Сектор промышленности является источником 5,2% выбросов, на отходы приходится 3,2% [1].

Республика Беларусь является Стороной РКИК ООН с 2000 года, Киотского протокола – с 2005 года, а также Парижского соглашения – с 2016 года. В связи с ратификацией Парижского соглашения по климату Беларусь взяла на себя международные обязательства по сокращению выбросов парниковых газов (далее – ПГ) на 28% до 2030 года по сравнению с 1990 годом [2].

Сектор «Отходы», хотя и уступает по абсолютным объемам выбросов энергетическому сектору, играет важную роль в общей структуре эмиссии ПГ. Его специфика заключается в том, что здесь доминируют метан (CH_4) и закись азота (N_2O) – газы с высоким потенциалом глобального потепления (GWP). Предполагается, что парниковый эффект от метана превосходит эффект от CO_2 в 84 раза. То есть прирост содержания метана на 1% дает вклад в парниковый эффект примерно в 84 раза более высокий, чем последствия от увеличения на 1% содержания двуокиси углерода [3]. Потенциал метана как парникового газа более чем в 80 раз превышает CO_2 .

Особую актуальность данной теме придают новые научные данные, полученные с использованием спутникового мониторинга. Так, исследование, опубликованное в журнале Science в 2025 году, показало, что реальные выбросы метана от полигонов могут превышать официальную статистику на 40–100 %, что говорит о пересмотре подходов к инвентаризации и управлению выбросами в данном секторе [4].

В связи с вышеизложенным целью публикации является количественная оценка вклада полигонов твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) в эмиссию парниковых газов.

Обзор мировых данных по эмиссии парниковых газов от полигонов ТКО. Полигоны ТКО вносят существенный вклад в антропогенные выбросы парниковых газов. Так, по обобщенным мировым данным, структура выбросов в секторе «Отходы» выглядит следующим образом [5]:

- 1) захоронение отходов на полигонах – основная доля (до 70–80 % выбросов сектора);
- 2) очистка сточных вод – 15–20 %;
- 3) сжигание отходов и компостирование – оставшаяся доля.

При разложении пищевых и других органических отходов на полигонах в атмосферный воздух выделяются метан, углекислый газ, закись азота, относящиеся к парниковым газам, а также сероводород и другие соединения, ухудшающие санитарно-гигиеническую обстановку в населенных пунктах [6; 7].

По оценкам различных ученых, вклад полигонов захоронения ТКО в глобальную эмиссию метана варьирует в пределах от 0,09 – 0,8 [8] до 1,5–73 млн. т/год [9; 10], что составляет 10–20 % от антропогенной и 6–12 % от общей глобальной эмиссии метана [9].

Результаты исследований Оо Р. Z., Prapasrongsa Т. и соавторов (2024) показывают, что средние глобальные выбросы ПГ из 1 тонны ТБО в 2023 году, основанные на существующих методах обращения с ТБО, составили приблизительно 89,7 кг CO_2 -эквивалента [5]. Основной вклад внесла открытая утилизация твердых бытовых отходов, на долю которой пришлось почти 70 % выбросов парниковых газов. В 2023 году мировой сектор обращения с твердыми бытовыми отходами произвел в общей сложности 173,2 млн тонн CO_2 -эквивалента выбросов парниковых газов. Если существующие системы не будут усовершенствованы, выбросы парниковых газов в секторе обращения с отходами, по прогнозам, увеличатся до 203,4 млн тонн CO_2 -эквивалента к 2030 году и до 289,5 млн тонн CO_2 -эквивалента к 2050 году.

При эксплуатации полигона быстрее всего разлагаются быстроразлагающиеся отходы в аэробных условиях. При этом биогаз состоит в основном из оксидов углерода и азота, водяного пара, метан при этом не образуется. Метан начинает выделяться через 1–2 года в анаэроб-

ных условиях. Максимальное выделение метана отмечается в течение 10-17 лет после начала эксплуатации полигона и сильно снижается по истечении 15 лет [12].

В составе биогаза, образующегося в анаэробных условиях, содержится (%): метан (35-55), углекислый газ (30-45), окислы азота (18-30); сероводород (до 2). В начальный период (около года) процесс разложения отходов носит характер их окисления, происходящего в верхних слоях отходов, за счет кислорода воздуха, содержащегося в пустотах и проникающего из атмосферы. Затем по мере естественного и механического уплотнения отходов и изолирования их грунтом усиливаются анаэробные процессы с образованием биогаза, являющегося конечным продуктом биотермического анаэробного распада органической составляющей отходов под воздействием микрофлоры. Биогаз через толщу отходов и изолирующих слоев грунта выделяется в атмосферу, загрязняя ее. Если условия складирования не изменяются, процесс анаэробного разложения стабилизируется с постоянным по удельному объему выделением биогаза практически одного газового состава (при стабильности морфологического состава отходов).

Различают пять фаз процесса распада органической составляющей твердых отходов на полигонах [12]:

1-я фаза – аэробное разложение;

2-я фаза – анаэробное разложение без выделения метана (кислое брожение);

3-я фаза – анаэробное разложение с непостоянным выделением метана (смешанное брожение);

4-я фаза – анаэробное разложение с постоянным выделением метана;

5-я фаза – затухание анаэробных процессов.

Расчетами российских исследователей показано, что суммарный валовый выброс биогаза от полигонов и свалок ТКО Республики Башкортостан составляет около 60 тыс. т/год, а от полигонов России в целом – более 12 млн т/год. Внедрение отдельного сбора ТКО с утилизацией отходов органического происхождения позволит сократить эмиссию биогаза в атмосферный воздух на 70% [13].

Результаты исследований в Республике Беларусь. На сегодняшний день в Беларуси для размещения ТКО действует 151 полигон (мини-полигоны отсутствуют), где захоранивается около 65 % образующихся в стране ТКО [14].

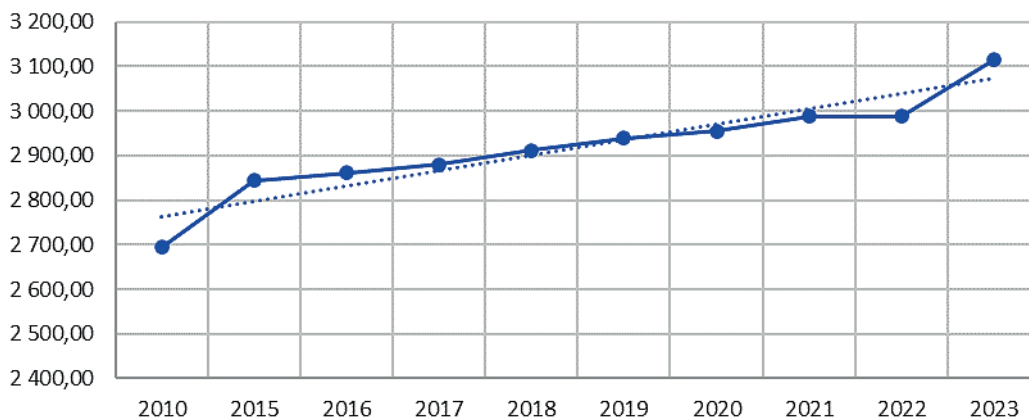
Характеристика морфологического состава отходов имеет ключевое значение для оценки потенциала образования метана. По данным исследований состава ТКО в Беларуси (Труш Я. В., Ботян Е. А., 2021), органическая фракция (пищевые и растительные отходы) составляет существенную часть потока отходов, направляемых на захоронение [15]. Именно органика является субстратом для анаэробного разложения и образования свалочного газа, состоящего примерно на 50–60 % из метана.

В Республике Беларусь сектор «Отходы» является значимым источником парниковых газов, доля которого в общем объеме национальных выбросов имеет тенденцию к росту [16]. Около 45 % выбросов сектора приходится на выбросы CH_4 , связанные с захоронением отходов на полигонах ТКО.

Анализ временных рядов, представленных в Национальном кадастре антропогенных выбросов и абсорбции поглотителями парниковых газов Республики Беларусь за 1990–2023 гг., позволяет оценить многолетнюю динамику и современные тенденции данного источника эмиссий (рисунок) [17].

Как следует из представленных данных, за анализируемый период (2010–2023 гг.) выбросы метана от захоронения отходов на полигонах ТКО возросли на 15,63 %. Наиболее интенсивный рост наблюдался в период после 2020 г. В 2023 году был зафиксирован максимальный уровень эмиссии за весь рассматриваемый период – 3114,54 тыс. тонн CO_2 -эквивалент, что существенно превышает значения 2010 г.

Выбросы CH₄,
тыс. тонн CO₂-экв.



Тенденции выбросов CH₄ от захоронения отходов на полигонах ТКО,
тыс. тонн CO₂-экв.

Основным драйвером роста выбросов является увеличение объемов захоронения коммунальных отходов. Несмотря на внедрение отдельных элементов системы раздельного сбора и переработки, полигонное захоронение остается доминирующим способом обращения с ТКО в республике, что обуславливает устойчивую тенденцию к росту эмиссии метана от данной категории источников.

Существенной проблемой для Беларуси, как и для многих других стран, является использование в расчетах международных обобщенных коэффициентов (дефолтных значений МГЭИК), разработанных для усредненных глобальных условий. Климатические особенности Беларуси, специфика морфологического состава отходов, применяемые технологии захоронения и социально-экономические факторы существенно влияют на фактический объем эмиссий.

Проведенный анализ мировых тенденций и национальных особенностей эмиссии парниковых газов от полигонов ТКО позволяет сформулировать основные выводы и практические рекомендации, направленные на совершенствование системы учета и снижение выбросов в секторе «Отходы» Республики Беларусь.

- 1) провести пилотные натурные замеры выбросов на крупнейших полигонах для верификации расчетных данных, получаемых с использованием дефолтных коэффициентов МГЭИК;
- 2) разработать национальные коэффициенты эмиссии для различных типов полигонов и климатических условий;
- 3) развивать систему раздельного сбора органических отходов с последующим компостированием или анаэробным сбраживанием, что позволит снизить метанообразующий потенциал захораниваемых отходов;
- 4) внедрить регулярный инструментальный мониторинг на репрезентативных объектах.

Библиографические ссылки

1. Отходы и климат: как сократить выбросы за счет модернизации полигонов // РБК Тренды. 2022. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/6285e6159a7947bbcc15503a> / (дата обращения: 25.02.2026).
2. Родькин О. И., Черненко Е. В. Оценка выбросов парниковых газов при сжигании биотоплива // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2018 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. Минск, 2018. Т. 3. С. 211.

3. Плотникова И. Н., Володин С. А., Кочнева Ю. Ю. Актуальные вопросы декарбонизации. Ч. 1 / под науч. ред. М. Х. Салахова, М. С. Тагирова. Казань : ФЭН, 2021. 56 с.
4. Спутники зафиксировали, что свалки выбрасывают в атмосферу метана в два раза больше, чем считалось ранее // Рамблер. – URL: / <https://news.rambler.ru/tech/55054722-sputniki-zafiksirovali-chno-svalki-vybrasyvayut-v-atmosferu-metana-v-dva-raza-bolshe-chem-schitalos-ranee/> (дата обращения: 27.02.2026).
5. The role of global waste management and circular economy towards carbon neutrality / P. Z. Oo [et al.] // Sustainable Production and Consumption. 2024. Vol. 52. P. 498–510.
6. Богданов Н. С., Певкин А. К. Статистический анализ эмиссии метана и оксида углерода от полигона ТКО (науч. рук. А. В. Забелина) // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых [Электронное издание]. СПб. : Университет ИТМО, 2025.
7. Satellite quantification of methane emissions from solid waste landfills / A. Johnson [et al.] // Science. 2025. Vol. 387, № 6732. P. 210–218.
8. Гурвич В. И., Лифшиц А. Б. Добыча и утилизация свалочного газа (СГ) – самостоятельная отрасль мировой индустрии. 2001. 11 с. URL: <http://www.ecoline.ru/> / (дата обращения: 27.02.2026).
9. Биогеохимические процессы образования и окисления биогаза на свалках бытовых отходов / В. С. Лебедев [и др.] // Экологическая химия. 1993. № 4. С. 323–334.
10. Ножевникова А. Н., Каллистова А. Ю., Кевбрина М. В. Эмиссия и окисление метана на полигоне захоронения твердых бытовых отходов: сезонные изменения // Труды института микробиологии им. С. Н. Виноградского. М. : Наука, 2006. Вып. XIII. С. 172–189.
11. Characterizing methane emissions from different types of landfill sites / M. Meadows [et al.] // Environmental impact, aftercare and redemption of landfills. Vol. IV : VII International waste management and landfill symposium, Sardinia, 1999. Sardinia, 1999. Vol. 4. P. 25–32.
12. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. Изд. доп. и перераб. М., 2004. С. 3-5.
13. Вклад раздельного накопления твердых коммунальных отходов в улучшение санитарно-гигиенической обстановки в населенных пунктах и снижение эмиссии парниковых газов / Н. С. Минигазинов [и др.] // Медицина труда и экология человека. 2022. № 3. С. 137–141.
14. Существующие барьеры при применении систем активной дегазации полигонов твердых коммунальных отходов для решения экологических и климатических проблем в Республике Беларусь / Е. И. Бертош [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2024. № 2. С. 86–91.
15. Труш Я. В., Ботян Е. А. Анализ данных изучения морфологического состава коммунальных отходов в Республике Беларусь // Экологическая безопасность 1991–2021 : материалы заоч. науч.-практ. конф., Минск, 2021 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. Минск, 2021. С. 152–156.
16. Полоз И. И., Родькин О. И. Оценка основных источников выбросов парниковых газов в секторе «Отходы» в Республике Беларусь // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2025. № 3. С. 89–95.
17. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2023 гг. : в 2 ч. / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. Минск : Бел НИЦ «Экология», 2025. Ч. 1. 420 с.

КОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЛИТ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

К. О. Рябычин¹⁾

¹⁾ *Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь, info@nature-nas.by*

Обсуждаются проблемы загрязнения окружающей среды частицами полистирола при утеплении зданий. На примере объекта здравоохранения показано, что в ходе строительных работ на различных этапах обращения с теплоизоляционными пенополистирольными плитами образуются отходы в виде обломков, отдельных вспененных гранул или мелкой крошки, которые рассеиваются на прилегающей к объекту территории. Рассматриваются особенности и пути дальнейшей миграции частиц полистирола, а также возможные негативные последствия.

Ключевые слова: пенополистирол; теплоизоляция; отходы; микропластик; загрязнение почв.

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF USING EXPANDED POLYSTYRENE BOARDS FOR BUILDING INSULATION

К. О. Rabychyn¹⁾

¹⁾ *Institute of Nature Management of the NAS of Belarus, F. Skoriny St., 10, 220076, Minsk, Belarus, info@nature-nas.by*

The issue of environmental pollution by polystyrene particles during building insulation is discussed. Using a healthcare facility as an example, this study shows that during construction work at various stages of handling heat-insulating polystyrene foam slabs, waste is generated in the form of fragments, foamed granules, or fine crumbs, which are dispersed in the area adjacent to the facility. The characteristics and pathways of migration of polystyrene particles, as well as possible negative consequences, are considered.

Keywords: expanded polystyrene; thermal insulation; waste; microplastics; soil pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-134-137>

Пенополистирол является одним из самых востребованных строительных материалов. Благодаря высоким теплоизоляционным свойствам, легкости и низкой стоимости пенополистирольные плиты (пенопласт) широко используются для утепления жилых и коммерческих зданий (стен, крыш, полов). Синтезированный в 1928 г., полистирол к середине XX века стал одним из основных полимерных утеплителей в мировой строительной практике и его потребление продолжает расти [1].

В Беларуси пенополистирольные плиты начали производиться в 1964 году; к настоящему времени их производство осуществляется на нескольких десятках предприятий, а объемы потребления вспененных материалов оцениваются почти в 30 тысяч тонн ежегодно [2]. Широкое применение пенополистирола в строительстве началось после выхода в 2003 году Постановления Совета Министров №45, которое разрешило его использование в системах утепления зданий до 12 этажей. В современном строительстве, используются плиты пенополистирола как в чистом виде, так и в виде многослойных стеновых панелей, включающих в себя элементы полистирольных плит, полистиролбетон и различные марки экструдированного полистирола. Повышение требований к энергоэффективности зданий способствовало увеличению потребления пенополистирольных плит при капитальных ремонтах зданий различного назначения [3; 4].

Однако свойства пенополистирола, обеспечившие его преимущества в строительстве, способствуют его рассеянию в окружающей среде. Данный утеплитель на 98 % состоит из воздуха и на 2 % из полистирола, что обеспечивает возможность крошиться при механическом воздействии и легко переноситься ветром. Кроме того, опасность полистирола связана с возможностью выделения различных химических веществ (мономеров стирола, преднамеренных добавок и сорбируемых веществ). По данным [5], даже низкие концентрации микропластика полистирола способны нарушать барьерную функцию кишечника и вызывать повреждение печени у млекопитающих. Кроме того, полистирол выступает в качестве сорбента для токсичных веществ, что может приводить к негативным последствиям для живых организмов аквальных систем [6].

Следует отметить, что при производстве полистирола на протяжении десятилетий в качестве антипирена использовался гексабромциклододекан (ГБЦД), пока в 2013 году это вещество не было включено в Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях. Согласно данным [7], содержание ГБЦД в пенополистирольных плитах может достигать 1,0 %, а в экструдированных – до 3,0 %.

В данной статье рассматриваются вопросы поступления отходов пенополистирола в окружающую среду при проведении ремонтных работ на территории учреждения здравоохранения (г. Минск). Здесь начиная с осени 2021 г. до весны 2022 г. осуществлялось утепление одного из корпусов больничного комплекса.

Основные методы используемые при проведении исследования – визуальный, маршрутный с фотофиксацией видимой части загрязнения и ГИС картографирование. Дополнительно был проведен отбор проб почв с глубины до 7 см с площадок размером 10×10 см. Количество полистирола оценивалось в пересчете на пробу.

В ходе обследования территории, прилегающей к 4-х этажному корпусу учреждения, где проводились ремонтные работы по обшивке фасада пенополистирольными плитами, было зафиксировано визуальное загрязнение фрагментами пенополистирола в радиусе до 185 метров. На расстоянии до 100 метров от здания отмечалось наибольшее количество отходов в виде обломков, отдельных вспененных гранул или мелкой крошки (рис. 1). При этом их распределение весьма неравномерно. Основная масса фрагментов была сконцентрирована в радиусе 40 метров от объекта ремонта. Далее по территории загрязнение фиксируется локально: в понижениях рельефа и придорожных полосах, особенно в направлении выезда транспорта с территории учреждения.



Рис. 1. Рассеяние отходов полистирола в 30 метрах от здания, на котором проводились работы по утеплению пенополистирольными плитами

Значительная часть отходов локализована в пределах огороженной площадки организации. Этому способствует наличие забора с бетонным основанием, а также уклоны рельефа в сторону организации, создающие физический барьер. Однако из-за низкой плотности материала и высотности здания часть фрагментов переносилась воздушным потоком через забор, задерживаясь в густой растительности за его пределами. Также было зафиксировано попадание большого количества пенополистирола в систему ливневой канализации города.

Анализ отобранных проб показал, что пиковые значения концентрации зафиксированы непосредственно вдоль ремонтируемых фасадов. Около 65% всех изъятых частиц были представлены отдельными гранулами размером менее 5 мм. В самой удаленной точке отбора проб (на периферии зоны загрязнения) обнаруживались исключительно фрагменты размером более 5 мм (рис. 2).

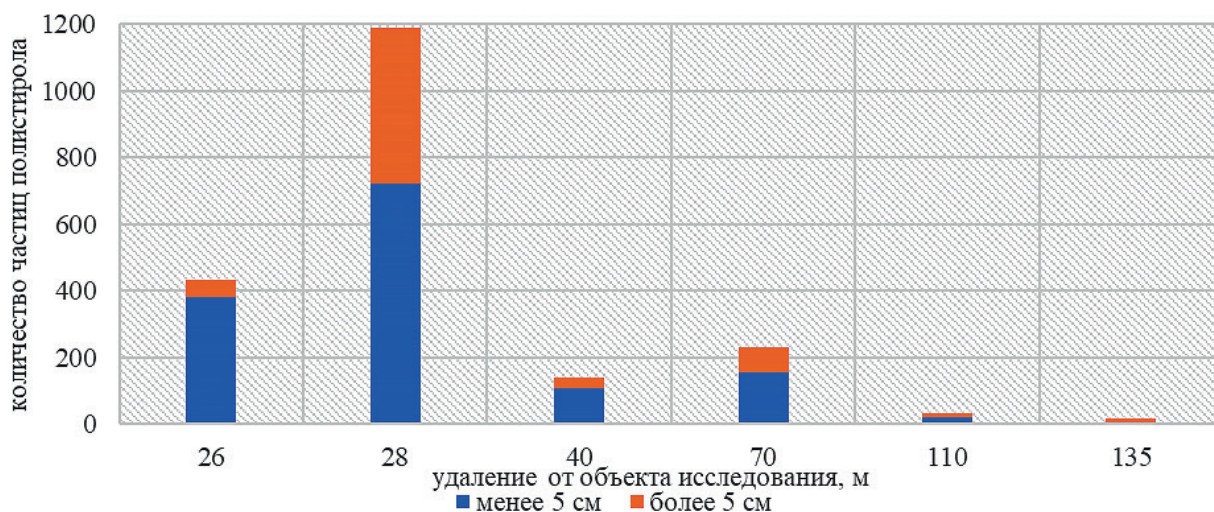


Рис. 2. Количество визуально обнаруженных частиц полистирола в пробах почв, отобранных на различном удалении от здания

Наблюдаемая картина загрязнения и переноса объясняется физическими свойствами материала и особенностями площадки. Механическое воздействие на пенополистирол при резке и монтаже приводит к фрагментации материала. Образовавшиеся легкие частицы разносятся ветром (особенно с высотных отметок здания) и ливневыми стоками.

Преобладание мелких гранул (менее 5 мм) вблизи источника связано с их образованием непосредственно в процессе резки. Тот факт, что на периферии зоны загрязнения встречаются только крупные фрагменты, объясняется их лучшей транспортабельностью за счет большей парусности. Мелкие гранулы, напротив, обладают меньшей парусностью и потому эффективнее застревают в траве и неровностях почвы, оставаясь в верхнем слое и закрепляясь вблизи источника. Неравномерное распределение вдоль дорог и выездов указывает на роль транспорта в перераспределении отходов (колеса, воздушные потоки от машин).

Также следует учесть, что по завершении работ на территории учреждения проводились неоднократные уборки, в том числе с помощью помпы, когда легкие частицы полистирола выдувались и разносились по территории. В дальнейшем миграция частиц полистирола продолжалась, в том числе за счет покосов травы, уборки листьев, когда часть полистирола попадала в отходы и вывозилась на полигоны.

Проведенное исследование позволяет заключить, что проблема загрязнения окружающей среды отходами пенополистирола носит комплексный характер, поскольку эмиссия материала происходит на всех этапах его использования – от транспортировки и хранения до механической обработки непосредственно на строительной площадке. Легкость частиц и способность

к миграции приводят к тому, что строительные работы становятся источником обширного загрязнения городской среды. Микрофрагменты разносятся ветром и ливневыми потоками, проникая в почву и создавая прямую угрозу попадания в водные объекты через систему ливневой канализации. Наибольшую опасность представляют частицы микропластика, который легко закрепляется в верхних слоях почвы, более биодоступен и благодаря высокой устойчивости полистирола к разложению, сохраняется там годами, накапливаясь в депонирующих средах и создавая долгосрочные риски для экосистем путем выделения из него различных химических веществ.

В целях минимизации негативного воздействия представляется необходимым:

- продолжение исследований для расширения понимания механизмов образования загрязнения, способов их эмпирической оценки и изучение негативных последствий;
- внедрение в практику строительного производства технологических решений, исключающих неорганизованное рассеивание частиц (резка в закрытых объемах, применение пылеподавляющего оборудования, локализация мест хранения);
- дополнение природоохранного законодательства и правил благоустройства требованиями, регламентирующими обращение с отходами полимерных утеплителей на строительных площадках;
- проведение мониторинговых исследований содержания частиц пенополистирола в почвах сельских территорий, прилегающих к объектам строительства и реконструкции.

Библиографические ссылки

1. Global Thermal Insulation Building Materials Market Insights and Forecast 2025-2032. // 24ChemicalResearch. URL: <https://www.24chemicalresearch.com/reports/127838/global-thermal-insulation-building-materials-mar>. (дата обращения: 16.02.2026).
2. Кухарчик, Т. И., Рябычин К. О. Локальные источники поступления частиц макро- и микропластика полистирола в окружающую среду на территории Беларуси // Природопользование. – 2024. – № 2. – С. 33-45. – DOI 10.47612/2079-3928-2024-2-33-45. EDN GHFQWR.
3. Строительные нормы. СН 2.02.05-2020 «Пожарная безопасность зданий и сооружений». URL: <https://normy.by/tnpa/1/6925.pdf>. (дата обращения: 16.02.2026).
4. Указ Президента Республики Беларусь от 4 сентября 2019 г. № 327 «О повышении энергоэффективности многоквартирных жилых домов». // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31900327>. (дата обращения: 16.02.2026).
5. Polystyrene microplastics exposure: Disruption of intestinal barrier integrity and hepatic function in infant mice. / Li H. [et al.] // Ecotoxicology and environmental safety. 2024. Vol. 288, P. 117357. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117357>.
6. Polystyrene plastic: a source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment. / Rochman C. M. [et al.] // Environmental Science & Technology. 2013. Vol. 47, iss. 24. P. 13976–13984.
7. European Commission Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs № ENV.G.4/FRA/2007/00. // European Commission. URL: https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/impel_report_09.pdf. (дата обращения: 17.02.2026).

ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И АДсорбЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА ПО ОТНОШЕНИЮ К ОРГАНИЧЕСКИМ ПРИМЕСЯМ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Н. А. Савастенко¹⁾, В. А. Люшкевич²⁾, И. И. Филатова²⁾,
М. П. Шимбалева¹⁾, С. А. Маскевич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nataliesavastenko@iseu.by

²⁾ Институт физики НАН Беларуси, пр-т. Независимости 68-2, 220072, г. Минск, Беларусь, filatova@presidium.bas-net.by

Изучено влияние воздействия плазмы диэлектрического барьерного разряда (ДБР) на адсорбционные свойства природного цеолита и его фотокаталитическую активность в реакциях фотодеградации органических загрязнителей в водных средах. Краситель родамин 6g был выбран в качестве модельного вещества в экспериментах по удалению органических загрязнителей из водных сред. Обработку цеолита в плазме проводили в течение 15 и 25 мин. В результате воздействия плазмы адсорбционная емкость цеолита незначительно возрастает (~3%) при концентрации адсорбата 10 мг·л⁻¹ и убывает (~7%) при концентрации адсорбата 100 мг·л⁻¹. Адсорбционная емкость не зависит от времени обработки цеолита в плазме. Фотокаталитическая активность цеолита в реакции фотодеградации родамина 6g возрастает на 30% после воздействия плазмы ДБР на поверхность цеолита в течение 25 мин.

Ключевые слова: цеолит; адсорбция; обработка в плазме; диэлектрический барьерный разряд; ДБР; органические примеси в водных средах; фотодеградация; родамин 6g; фотокатализатор; адсорбционная емкость

EFFECT OF PLASMA TREATMENT ON THE PHOTOCATALYTIC ACTIVITY AND ADSORPTION PROPERTIES OF NATURAL ZEOLITE IN RELATION TO ORGANIC POLLUTANTS IN AQUEOUS MEDIA

N. A. Savastenko¹⁾, V. A. Lyushkevich²⁾, I. I. Filatova²⁾,
M. P. Shymbalioua¹⁾, S. A. Maskevich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nataliesavastenko@iseu.by

²⁾ B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Nezavisimosty Ave., 68-2, Minsk, Belarus, filatova@presidium.bas-net.by

The effect of dielectric barrier discharge (DBD) plasma treatment on the adsorption properties of natural zeolite and its photocatalytic activity in the photodegradation reactions of organic pollutants in aqueous media was studied. Rhodamine 6G dye was selected as a model substance in experiments on the removal of organic pollutants from aqueous media. Zeolite was treated in plasma for 15 and 25 minutes. As a result of plasma treatment, the adsorption capacity of zeolite increased slightly (~3%) at an adsorbate concentration of 10 mg·L⁻¹ and decreased (~7%) at an adsorbate concentration of 100 mg·L⁻¹. The adsorption capacity did not depend on the plasma treatment time. The photocatalytic activity of zeolite in the photodegradation reaction of rhodamine 6G increased by 30% after DBD plasma treatment of the zeolite surface for 25 minutes.

Keywords: zeolite; adsorption; plasma treatment; dielectric barrier discharge; DBD; organic pollution in aqueous media; photodegradation; rodamine 6g; photocatalysts; adsorption capacity

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-138-142>

Очистка воды от органических примесей и загрязнителей рассматривается в настоящее время как важная экологическая проблема, тесно связанная с сохранением здоровья человека и восстановлением водных ресурсов. Качество поверхностных вод постоянно ухудшается из-за поступления недостаточно очищенных сточных вод, содержащих техногенные отходы промышленных предприятий. Одним из основных источников поступления органических примесей в сточные воды являются отходы предприятий, содержащие органические красители, продукты разложения которых могут вызывать онкологические заболевания.

Современные методы очистки и обеззараживания воды включают использование ультрафиолетового излучения, ультразвука, озонирования, хлорирования или гетерогенного катализа. Одними из наиболее эффективных методов и считаются сорбция и катализ, однако высокая стоимость используемых для очистки воды материалов требует разработки новых технологий с применением недорогих материалов, а также методов повышения их функциональных свойств.

Перспективным направлением очистки воды от загрязнителей является использование цеолитов, которые обладают высокой сорбционной способностью по отношению ко многим органическим веществам. Для этой цели могут быть использованы как синтетические, так и природные цеолиты, последние более предпочтительны вследствие их дешевизны. Ведутся интенсивные исследования в области направленного модифицирования цеолитов с целью улучшения их функциональных свойств при использовании в качестве сорбентов и катализаторов.

В настоящей работе исследовано влияние обработки цеолита в плазме диэлектрического барьерного разряда, создаваемого в воздухе при нормальном давлении, на адсорбционные и фотокаталитические свойства природного цеолита.

Исследование фотокаталитической активности и адсорбционных свойств материалов проводили фотометрическим методом. Для определения остаточной концентрации красителя были построены градуировочные графики зависимости оптической плотности водного раствора родамина 6g от его концентрации. При проведении спектрофотометрических измерений были использованы кювета с оптической длиной пути 5 мм (Логопласт Мед, 4 мл, кювета спектрофотометрическая, тип А) и кварцевая кювета с оптической длиной 1мм. Измерения проводились с помощью спектрофотометра UV-VIS PB 2201 (Solar, РБ). Для приготовления раствора красителя была использована дистиллированная вода. Квалификация всех используемых химических реактивов (красителей) ЧДА.

В качестве модельного вещества в исследованиях фотокаталитической активности и равновесной адсорбционной емкости материалов был выбран краситель родамин 6g. В дальнейшем используется обозначение R6G. Родамин 6g является катионным красителем, имеющим положительный заряд на своей молекуле. Этот заряд обуславливает его сильное поглощение в видимом диапазоне и высокую флуоресценцию, а также его способность растворяться в полярных растворителях, например, в воде.

В качестве фотокатализатора и адсорбента был выбран природный цеолит. В проведенных экспериментах масса катализатора и адсорбента составляла 100 мг. Равновесная адсорбционная емкость определена для концентраций красителя 10 мг·л⁻¹ и 100 мг·л⁻¹. Исследование кинетики адсорбции проводилось для концентраций красителя 10 мг·л⁻¹. В процессе измерений проводилось постоянное перемешивание смеси адсорбента и адсорбата при скорости 200 об·мин⁻¹.

Плазменная обработка образцов проводилась в плазме диэлектрического барьерного разряда (ДБР), создаваемого в воздухе при нормальном давлении в течение 15 или 25 мин в установке ДБР-4, подробно описанной в предыдущих исследованиях [1; 2].

Расчет равновесной адсорбционной емкости Q_e проводился по формуле [3–5]:

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{W} \cdot V,$$

где C_0 – начальная концентрация адсорбата (красителя), [мг·л⁻¹]; C_e – равновесная концентрация адсорбата (красителя), [мг·л⁻¹]; W – масса адсорбента [г]; V – объем раствора [л].

На рис. 1 представлены спектры поглощения красителя концентрации 10 мг·л⁻¹ до и после фильтрации, а также спектр поглощения взвеси цеолита в дистиллированной воде после фильтрации.

Определение количества адсорбированного вещества проводили через $t_{ads} = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90$ и 105 мин адсорбции. Измерения проводились для каждого значения t_{ads} во вновь приготовленной смеси адсорбента и раствора адсорбата. Перед проведением фотометрических измерений раствор красителя фильтровали, при этом полное удаление частиц цеолита из раствора не достигалось.

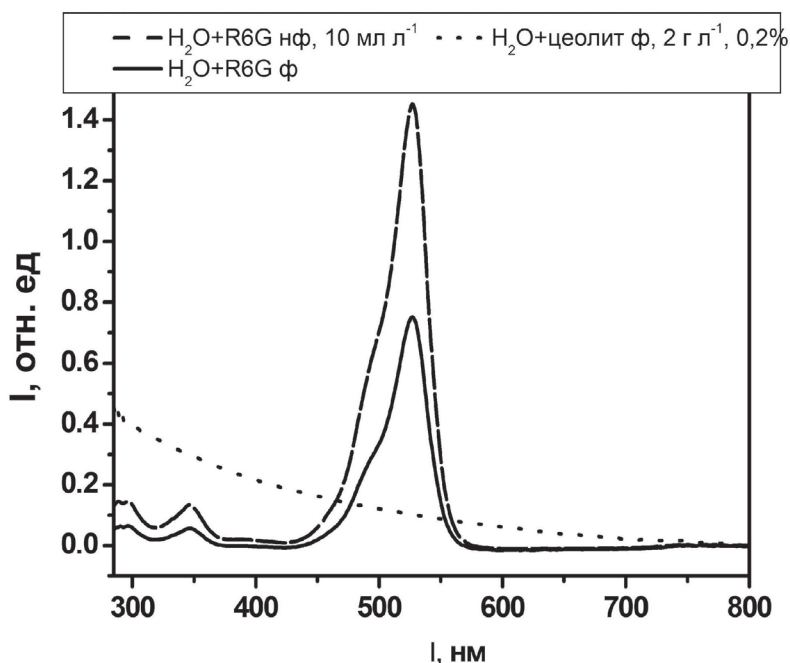


Рис. 1. Спектры поглощения красителя родамин 6g концентрации 10 мг·л⁻¹ до (H_2O+R6G нф) и после фильтрации (H_2O+R6G ф), а также спектр поглощения взвеси цеолита в дистиллированной воде после фильтрации ($H_2O+цеолит$ ф). Концентрация цеолита составляла 2г·л⁻¹ или 0,2 вес.%

Рассеяние оставшимися частицами цеолита учитывалось при расчете количества адсорбированного красителя.

На рис. 2 представлены спектры поглощения красителя родамин 6g, использованные для исследования кинетики адсорбции необработанным цеолитом (Zeo) и цеолитом, обработанным в плазме диэлектрического барьерного разряда в течение 15 (Zeo15) и 25 мин (Zeo25). Начальная концентрация красителя составляла 10 мг·л⁻¹.

Количество адсорбированного вещества определяли по оптической плотности в максимуме полосы поглощения вблизи 532 нм. Концентрация адсорбированного вещества была рассчитана по градуировочным графикам, полученным в предыдущих этапах.

Кинетика адсорбции красителя обработанным в плазме и необработанным цеолитом при значении начальной концентрации красителя в растворе 10 мг·л⁻¹ представлена на рис. 3.

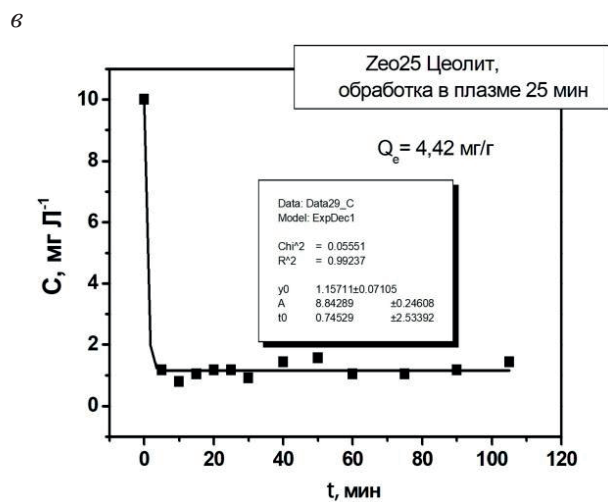
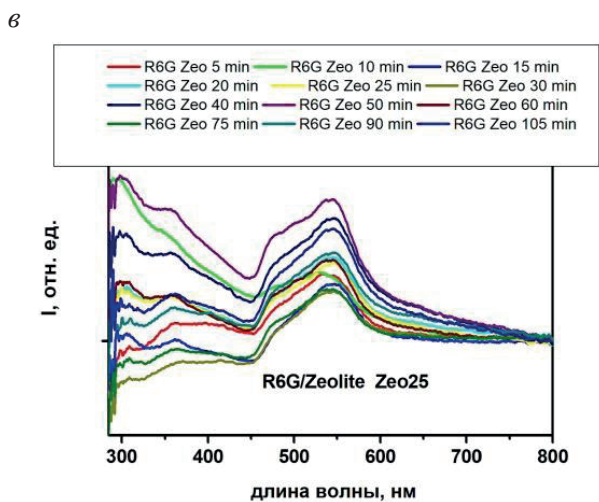
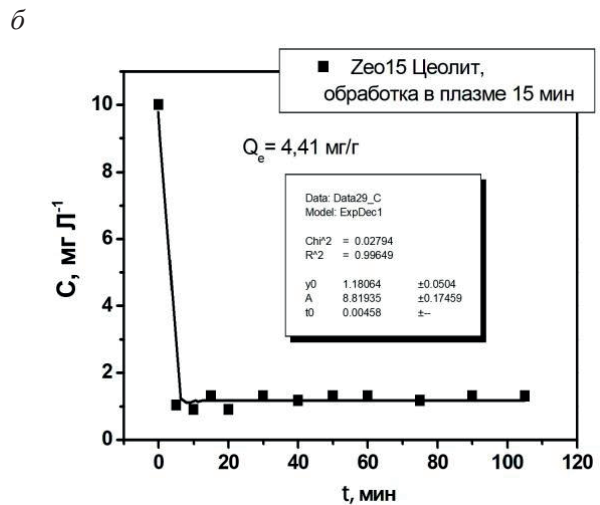
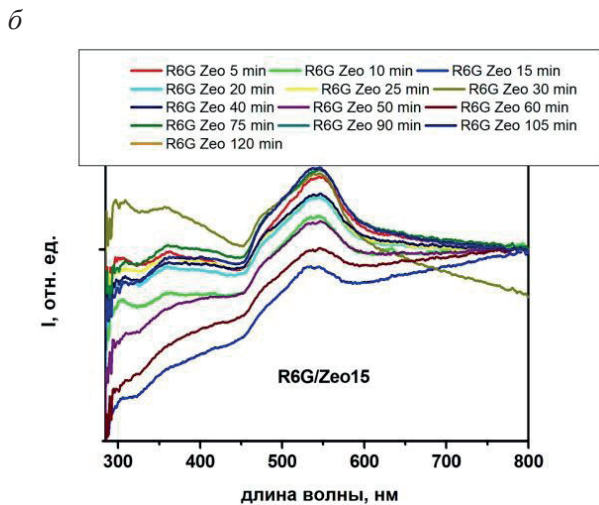
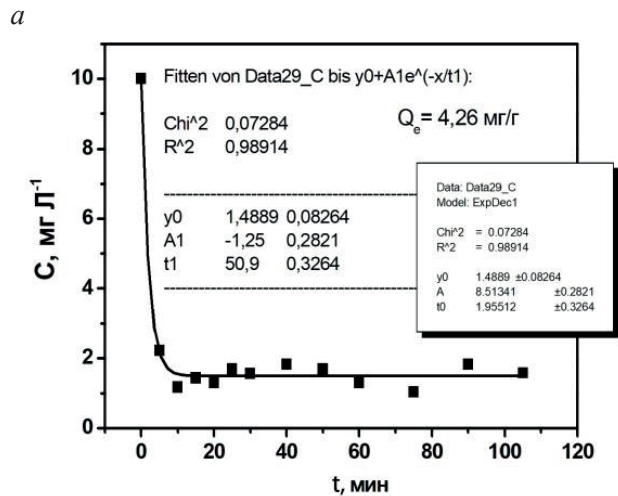
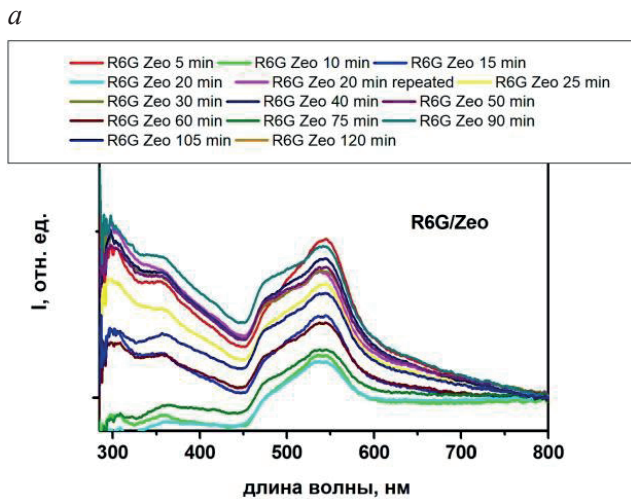


Рис. 2. Спектры поглощения красителя родамин бг, использованные для исследования кинетики адсорбции необработанным цеолитом (Zeo, а) и цеолитом, обработанным в плазме диэлектрического барьерного разряда в течение 15 (Zeo15, б) и 25 мин (Zeo25, в). Начальная концентрация красителя составляла 10 мг·л⁻¹

Рис. 3. Кинетика адсорбции красителя родамин бг необработанным цеолитом (Zeo, а) и цеолитом, обработанным в плазме диэлектрического барьерного разряда в течение 15 (Zeo15, б) и 25 мин (Zeo25, в). Начальная концентрация красителя составляла 10 мг·л⁻¹

Для определения равновесной концентрации проводилась экспоненциальная интерполяция зависимостей концентраций красителя от времени. При этом в качестве равновесной кон-

центрации выступал параметр интерполяции y_0 (Рис. 3). Рассчитанные значения адсорбционной емкости также представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, при начальной концентрации красителя в растворе $10 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ адсорбционная емкость обработанного плазмой цеолита незначительно возрастает ($\sim 3,3\%$) и практически не изменяется при увеличении времени обработки цеолита в плазме.

При измерении адсорбционной емкости необработанного (Zeo) и обработанного в плазме цеолита (Zeo25) в растворе красителя родамина 6G (R6G) концентрации $100 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ установлено, что обработка в плазме приводит к уменьшению адсорбционной емкости приблизительно на 7%: $Q_e^{\text{Zeo}} = 25,6 \text{ мг}\cdot\text{г}^{-1}$, $Q_e^{\text{Zeo25}} = 23,9 \text{ мг}\cdot\text{г}^{-1}$.

Исследование фотокаталитической активности необработанного (Zeo) и обработанного в плазме цеолита (Zeo25) в реакции фотодеградации красителя родамина 6G под действием ультрафиолетового излучения показало, что обработка в плазме приводит к повышению активности фотокатализаторов на основе цеолита приблизительно на 30 %. Так, за 20 мин облучения суспензии необработанного цеолита (Zeo) в водном растворе красителя родамина 6G концентрации $100 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ разлагается 75 % исходного количества красителя. При использовании обработанного в плазме цеолита (Zeo25) за то же время разлагается 95 % исходного количества красителя.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлено повышение фотокаталитической активности цеолита на $\sim 30\%$ в реакции фоторазложения красителя родамина 6G в результате воздействия на его поверхность плазмы диэлектрического барьерного разряда. При этом в результате воздействия плазмы адсорбционная емкость цеолита незначительно возрастает ($\sim 3\%$) при концентрации адсорбата $10 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ и убывает ($\sim 7\%$) при концентрации адсорбата $100 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, грант №Ф25УЗБ-104 «Разработка метода плазмоактивированного синтеза композитных катализаторов для разложения летучих органических соединений в воздухе и органических загрязнителей в водных средах» (НИР «Плазмоактивированный синтез композитных катализаторов с включенными плазмонными наночастицами», договор №52/1 в рамках НИР по гранту №Ф25УЗБ-104).

Библиографические ссылки

1. 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, iss. 6. P. 25–42.
2. *Савастенко Н. А.* Плазменные методы синтеза и модификации каталитически активных нано- и микродисперсных материалов : автореф. дис. на соискание степени д-ра физ.-мат. наук : 01.04.08 / Ин-т физики НАН Беларуси. Минск, 2024. – 49 с.
3. *Hamood Z. A., Chyad T. F., Al-Saedi, R.* Adsorption performance of dyes over zeolite for textile wastewater treatment // Ecol. Chem. Eng. S. 2021. V. 28, iss. 3. P. 329–337.
4. *Armagan B., Turan M., Karagad D.* Adsorption of different reactive dyes on surfactant-modified zeolite: kinetic and equilibrium modeling : Survival and Sustainability. Environmental Earth Sciences : Springer, 2011. Ch. 9. P. 1237–1254.
5. *Булыга, Д. В., Евстропьев С. К.* Кинетика адсорбции и фотокаталитического разложения диазокрасителя нанокompозитов ZnO—MO // Оптика и спектроскопия. 2022. Т. 130, № 9. С. 1455–1463.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КИНЕТИКИ АДсорбЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ И КОФЕИНА НА ЦЕОЛИТЕ И ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ (Al₂O₃)

Н. А. Савастенко¹⁾, В. А. Люшкевич²⁾, И. И. Филатова²⁾,
М. П. Шимбалева¹⁾, С. А. Маскевич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, nataliesavastenko@iseu.by

²⁾ Институт физики НАН Беларуси, пр-т. Независимости 68-2, 220072, г. Минск, Беларусь, filatova@presidium.bas-net.by

В настоящей работе представлен сравнительный анализ кинетики адсорбции органических красителей метилового оранжевого, кристаллического фиолетового, родамина 6g, метилтимолового синего, Конго красного и кофеина на цеолите и оксиде алюминия (Al₂O₃). Исследования проводились с использованием модельных растворов красителей и кофеина различных концентраций.

Ключевые слова: цеолит; оксид алюминия (Al₂O₃); адсорбция; органические примеси в водных средах; органические красители; родамин 6g; метиловый оранжевый; кристаллический фиолетовый; родамин 6g; метилтимоловый синий; Конго красный; кофеин; адсорбционная емкость

COMPARATIVE ANALYSIS OF ADSORPTION KINETICS OF ORGANIC DYES AND CAFFEINE ON ZEOLITE AND ALUMINIUM OXIDE (Al₂O₃)

N. A. Savastenko¹⁾, V. A. Lyushkevich²⁾, I. I. Filatova²⁾,
M. P. Shymbalioua¹⁾, S. A. Maskevich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, nataliesavastenko@iseu.by

²⁾ B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Nezavisimosty Ave., 68-2, Minsk, Belarus, filatova@presidium.bas-net.by

This paper presents a comparative analysis of the adsorption kinetics of the organic dyes: methyl orange, crystal violet, rhodamine 6g, methylthymol blue, Congo red; and caffeine on zeolite and alumina (Al₂O₃). The studies were conducted using model solutions of the dyes and caffeine at various concentrations.

Keywords: zeolite; aluminium oxide (Al₂O₃); adsorption; organic impurities in aqueous media; organic dyes; methyl orange; crystal violet; rhodamine 6g; methylthymol blue; Congo red; caffeine; adsorption capacity

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-143-147>

Одной из причин упадка качества природных водных бассейнов является антропогенное загрязнение. Основную проблему загрязнения создают сточные воды промышленных предприятий. В состав сточных вод входит существенное количество органических красителей и лекарственных препаратов. Их присутствие негативно сказывается на качестве воды и экосистемы. В настоящее время предложен ряд методов очистки воды, основанных на явлении обратного осмоса, фильтрации, абсорбции на активированном угле или других адсорбирующих материалах, озонировании, хлорировании, разложении с использованием перекиси водорода или перманганата калия и т. д. Среди всех методов, используемых для очистки воды от органических примесей, выделяется адсорбция как эффективный, простой и экономичный метод.

В настоящей работе представлен сравнительный анализ кинетики адсорбции органических красителей метилового оранжевого (метилоранж, Methyl orange, гелиантин, 4-(4-диметиламинофенилазо) бензолсульфонат натрия, $C_{14}H_{14}N_3O_3SNa$), кристаллического фиолетового (N,N,N',N',N'',N'' -гексаметилпарарозанилин хлорид, $C_{25}H_{30}N_3Cl$), родамина 6g (9-[2-(Ethoxycarbonyl)phenyl]-*N*-ethyl-6-(ethylamino)-2,7-dimethyl-3H-xanthen-3-iminium chloride, $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$), метилтимолового синего ($C_{37}H_{44}N_2O_{13}S$), Конго красного (динатриевая соль 4,4'-бис-(1-амино-4-сульфо-2-нафтилазо)бифенила), $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$) и кофеина (кофеина бензоата натрия, $C_8H_{10}N_4O_2$) на цеолите и оксиде алюминия (Al_2O_3). Структурные формулы исследуемых веществ представлены на рис. 1.

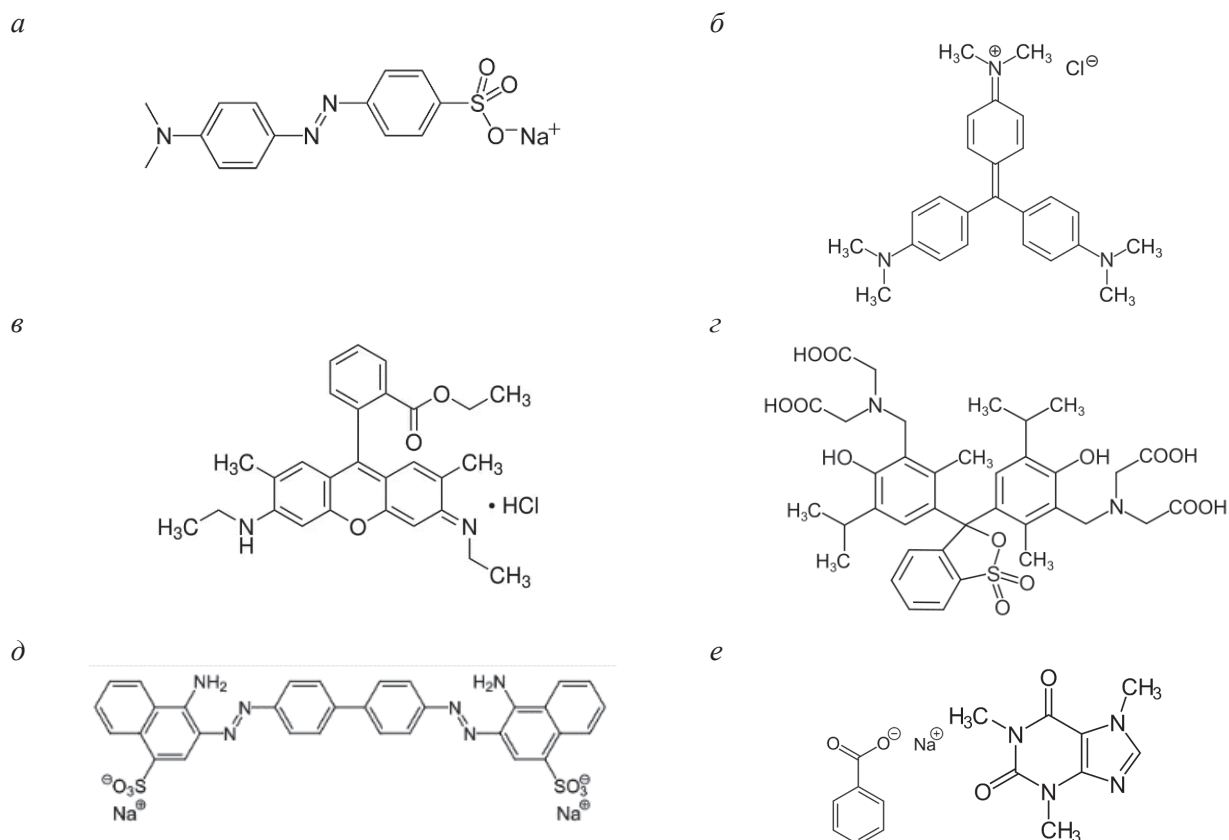


Рис. 1. Структурные формулы метилового оранжевого (а), кристаллического фиолетового (б), родамина 6g (в), метилтимолового синего (г), Конго красного (д) и кофеина бензоата натрия (е)

Метилоранж и Конго красный относятся к группе азокрасителей. Родамин 6g, метилтимоловый синий и кристаллический фиолетовый – к группе трифенилметановых красителей. Кристаллический фиолетовый, метилоранж и родамин 6g являются катионными красителями, Конго красный – это анионный краситель. В качестве модельного вещества в исследованиях адсорбционной емкости материалов по отношению к лекарственным средствам выбран кофеин – алкалоид пуринового ряда ($C_8H_{10}N_4O_2$, кофеин-бензоат натрия). Исследование адсорбционных свойств материалов проводили фотометрическим методом. Для определения концентрации адсорбированного материала построены градуировочные графики зависимостей оптической плотности растворов красителей и кофеина в максимуме поглощения от их концентрации. Измерения проводились с помощью спектрофотометра UV-VIS PB 2201 (Solar, РБ). Для приготовления растворов красителей и кофеина была использована дистиллированная вода. Квалификация всех используемых химических реактивов (красителей) ЧДА. Кофеин был приобретен в форме лекарственных средств и не подвергался дополнительной очистке.

Для установления оптимальных параметров тестирования адсорбционной способности материалов в 50 мл раствора красителей концентрации $10 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ помещали 10 мг, 100 мг, 1 г цеолита или 100 мг Al_2O_3 . Исследование адсорбции кофеина (50 мл, $10 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$) проводили с использованием 100 мг адсорбента. Измерения концентрации адсорбированного вещества проводили с интервалом 30 мин. В начале каждого интервала взвесь адсорбата и адсорбента перемешивали в течение 30 с со скоростью 200 мин^{-1} . Для определения максимума поглощения исследуемых в работе адсорбатов были измерены их спектры (рис. 2).

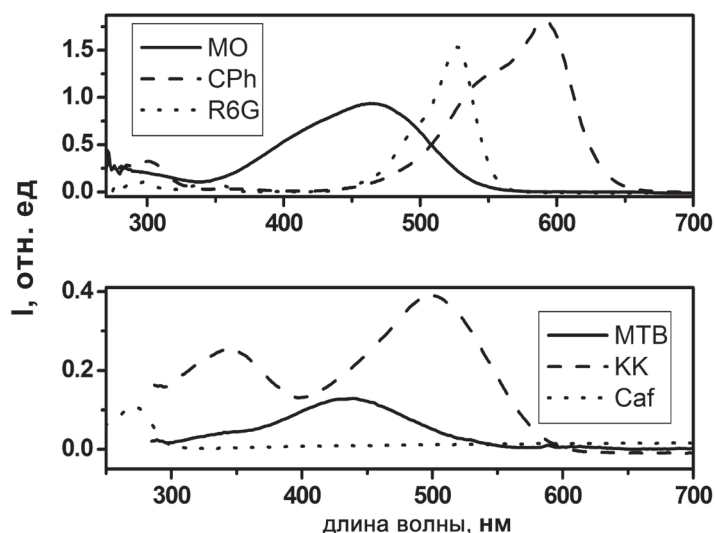


Рис. 2. Спектры поглощения красителей метилового оранжевого (МО), кристаллического фиолетового (СPh), родамина 6g (R6G), метилтимолового синего (МТВ), Конго красного (КК) и кофеина бензоата натрия (Caf)

Метилоранжевый и кофеин практически не адсорбируются ни на цеолите, ни на Al_2O_3 (рис. 3). Небольшое повышение оптической плотности раствора метилового оранжевого после 48 ч адсорбции связано с неполным удалением частиц цеолита при фильтровании взвеси перед фотометрическими измерениями. Растворы некоторых красителей в процессе адсорбции изменяли цвет: метилтимоловый синий (желтый-синий-серый), Конго красный (красный-синий). Изменение цвета растворов красителей может быть обусловлено изменением pH среды.

Зависимость адсорбции красителей и кофеина исследуемыми сорбентами от времени контакта представлена на рис. 4. Степень сорбции S рассчитывали по разности исходной и остаточной концентрации адсорбата в водном растворе [1–5]:

$$S = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация адсорбата, $[\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}]$; C_t – концентрация адсорбата в момент времени t , $[\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}]$.

Расчет равновесной адсорбционной емкости Q_e проводился по формуле [1–5]:

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{W} \cdot V, \quad (2)$$

где C_0 – начальная концентрация адсорбата, $[\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}]$; C_e – равновесная концентрация адсорбата, $[\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}]$; W – масса адсорбента $[\text{г}]$; V – объем раствора $[\text{л}]$.

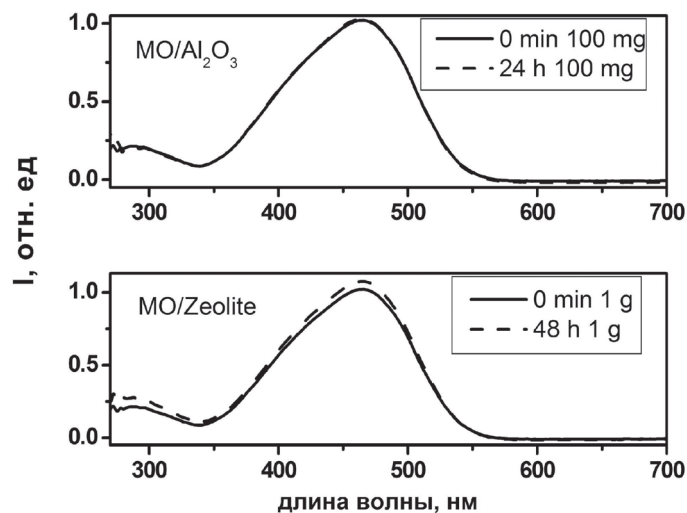


Рис. 3. Адсорбция красителя метилового оранжевого на Al_2O_3 (MO/ Al_2O_3) и цеолите (MO/Zeolite)

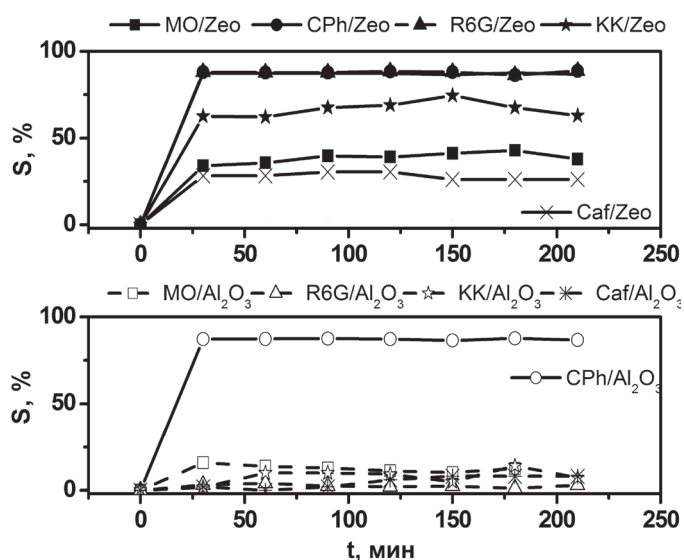


Рис. 4. Зависимость степени адсорбции от времени контакта для исследуемых сорбентов

Корректный расчет степени сорбции метилтимолового синего невозможен, так как в процессе сорбции максимум полосы поглощения смещается – краситель меняет цвет.

Как видно из рис. 4, адсорбционно-десорбционное равновесие устанавливается для всех красителей и кофеина не позднее, чем через 30 мин. Все красители за исключением кристаллического фиолетового слабее адсорбируются на оксиде алюминия, чем на цеолите. По данным, представленным на рис.4, и калибровочным графикам рассчитаны значения равновесной сорбционной емкости адсорбатов (таблица). В качестве равновесного принималось значение концентрации адсорбата, достигаемое после 30 минутного контакта с цеолитом или оксидом алюминия.

Равновесная сорбционная емкость

	Цеолит, мг·г ⁻¹	Al_2O_3 , мг·г ⁻¹
Метилловый оранжевый	1,85	0,63
Кристаллический фиолетовый	4,30	4,30
Родамин 6g	4,30	0,09
Конго Красный	3,35	0,09
Кофеин	1,50	0,09

Таким образом, цеолит обладает наибольшей сорбционной емкостью по отношению к красителям родамин 6g и кристаллический фиолетовый, на оксиде алюминия адсорбируется только краситель кристаллический фиолетовый.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, грант №Ф25УЗБ-104 «Разработка метода плазмоактивированного синтеза композитных катализаторов для разложения летучих органических соединений в воздухе и органических загрязнителей в водных средах» (НИР «Плазмоактивированный синтез композитных катализаторов с включенными плазмонными наночастицами», договор №52/1 в рамках НИР по гранту №Ф25УЗБ-104).

Библиографические ссылки

1. *Hammood Z. A., Chyad T. F., Al-Saedi, R.* Adsorption performance of dyes over zeolite for textile wastewater treatment // *Ecol. Chem. Eng. S.* 2021. V. 28, iss. 3. P. 329–337.

2. *Armagan B., Turan M., Karagad D.* Adsorption of different reactive dyes on surfactant-modified zeolite: kinetic and equilibrium modeling : *Survival and Sustainability. Environmental Earth Sciences* : Springer, 2011. Ch. 9. P. 1237–1254.

3. Адсорбция красителей метиленового синего и метанилового желтого модифицированными углеродными сорбентами / Л. Г. Пьянова [и др.] // *Журнал прикладной химии.* 2017. Т. 90, № 12. С.1678–1682.

4. *Булыга, Д. В., Евстропьев С. К.* Кинетика адсорбции и фотокаталитического разложения диазокрасителя нанокompозитов ZnO–MO // *Оптика и спектроскопия.* 2022. Т. 130, № 9. С. 1455–1463.

5. *Лысенко, А. В., Левина, К. А., Кувардин, Н. В.* Адсорбция прямых светопрочных краителей целлюлозным сырьем из водных растворов // *Известия Юго-Западного государственного университета.* Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 1. С. 114–129.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРОДА СОЛИГОРСКА

Э. И. Садовская¹⁾, С. Е. Головатый¹⁾, С. В. Савченко²⁾,
В. В. Зеленуха¹⁾, К. М. Кузьмич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, sadovskayevelina@mail.ru

²⁾ Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь, svscience@rambler.ru

Регион Солигорских калийных производств характеризуется высокой степенью техногенной трансформации, вызванной накоплением более 1 млрд. тонн промышленных отходов. Статья освещает результаты мониторинга содержания тяжелых металлов (свинец, цинк, медь, кадмий и никель) в почвах Солигорска за 2006, 2010, 2013, 2018 и 2023 годы.

Многолетние наблюдения показывают, что содержание тяжелых металлов в почвах г. Солигорска по основным контролируемым загрязняющим элементам (свинец, медь, кадмий, никель) наблюдается стабильная благоприятная ситуация, за исключением содержания цинка в отдельные годы (2010 г., 2013 г. и 2023 г.), концентрация которого на некоторых мониторинговых площадках превышала установленные нормативы.

Ключевые слова: калийные производства; мониторинг земель; почвенный покров; тяжелые металлы.

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE SOLIGORSK SOIL COVER

E. I. Sadovskaya¹⁾, S. E. Golovaty¹⁾, S. V. Savchenko²⁾,
U. V. Zelianukha¹⁾, K. M. Kuzmich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, sadovskayevelina@mail.ru

²⁾ State Scientific Institution «Institute of Nature Management of the National Academy Sciences of Belarus», Skoryny str., 10, 220076, Minsk, Belarus, svscience@rambler.ru

The Soligorsk potash production region in Belarus is characterized by a high degree of technogenic transformation caused by the accumulation of more than 1 billion. tons of industrial waste. The article presents the results of monitoring the content of heavy metals (lead, zinc, copper, cadmium and nickel) in the soils of Soligorsk in 2006, 2010, 2013, 2018 and 2023.

Long-term observations show that the content of heavy metals in the soils of Soligorsk for the main controlled pollutants (lead, copper, cadmium, nickel) has a stable favorable situation, with the exception of zinc content in some years (2010, 2013 and 2023), the concentration of which at some monitoring sites exceeded the established standards.

Keywords: potash production; land monitoring; soil cover; heavy metals.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-148-151>

В Республике Беларусь одним из наиболее измененных регионов в плане техногенной трансформации поверхности земли является район Солигорских калийных производств. К числу крупных промышленных предприятий концерна «Белнефтехим» относится ОАО «Беларуськалий». Деятельность предприятия охватывает полный цикл горнодобывающих работ и выпуск минеральной продукции. Основу производства составляют хлористый

калий и комплексные азотно-фосфорно-калийные удобрения. Кроме того, предприятие выпускает различные виды соли (пищевого, технического и кормового назначения). Дополнительным направлением деятельности стало производство гидроксида калия, соляной кислоты, гипохлорида натрия.

Ключевыми факторами химического воздействия в зоне расположения предприятия являются отходы калийного производства: побочные продукты обогащения (галитовые отходы) и глинисто-солевые шламы. Действующие мощности «Беларуськалия» обуславливают ежегодное образование значительных объемов отходов: галитовые отвалы пополняются на 16–20 млн. тонн, а шламохранилища – на 1,5–2 млн. тонн в год. Накопление этих отходов осуществляется на специальных объектах – солеотвалах и шламохранилищах, под которые отведено более 1900 га земель. В настоящее время суммарная масса накопленных отходов превышает порог в 1 миллиард тонн [1].

Распределение техногенных поллютантов в зоне воздействия ОАО «Беларуськалий» детерминировано комплексом факторов: особенностями структуры почвенного покрова, уровнем увлажнения (гидроморфизма), удаленностью от промплощадки и розой ветров. Установлена закономерность: при смене автоморфных дерново-подзолистых супесей на полугидроморфные легкосуглинистые почвы фиксируется устойчивый рост содержания подвижных хлоридов по всей глубине почвенного профиля.

В городе Солигорск функционирует пункт учета мониторинга земель, где наблюдения проводятся раз в пять лет. Мониторинг земель представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием земель и их изменением под воздействием природных и антропогенных факторов. Он включает в себя изучение состава, структуры и состояния земельных ресурсов, распределения земель по категориям и видам землепользования. Целью этой системы является сбор, передача и обработка данных для своевременного выявления и оценки изменений, предупреждения и устранения негативных последствий, а также оценки эффективности мероприятий, направленных на сохранение и восстановление плодородия почв и защиту земель от негативных факторов.

Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» проводит мониторинг химического загрязнения земель в следующих областях: на фоновых территориях, в населенных пунктах и в придорожных зонах автомобильных дорог [2].

На сегодняшний день тяжелые металлы занимают одну из ведущих позиций по степени опасности. Среди них наиболее опасными загрязнителями считаются Pb, Cd, Zn, Hg, As и Cu, поскольку их накопление в окружающей среде происходит с весьма высокой скоростью.

Исследования показали, что среднее и максимальное содержание свинца в почвах г. Солигорска за годы исследований остаётся на стабильном уровне, с незначительными колебаниями. Наблюдается, что средние значения примерно одинаковы на протяжении всех лет наблюдений и не превышает установленных норм (рис. 1).

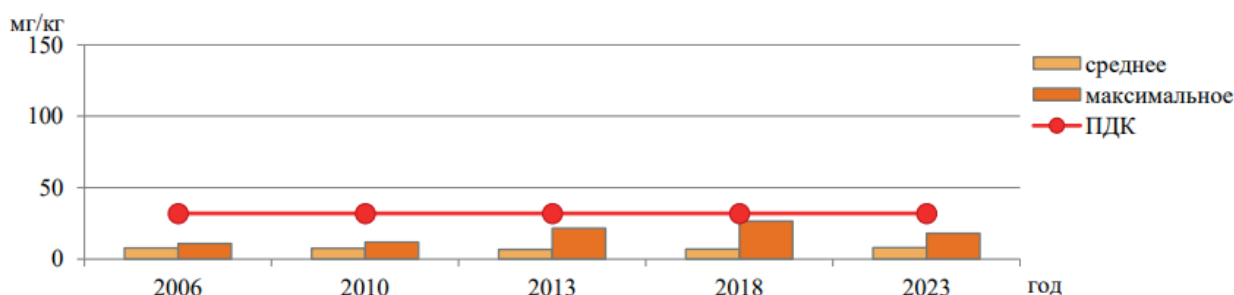


Рис. 1. Содержание свинца в почвах г. Солигорска по годам

Среднее содержание цинка в почвах исследованной территории также остается стабильным. Однако в отдельные годы (2010, 2013 и 2023) в почвах пробных площадок наблюдалось превышение ориентировочно допустимых концентраций (50 мг/кг) по этому элементу (рис. 2).

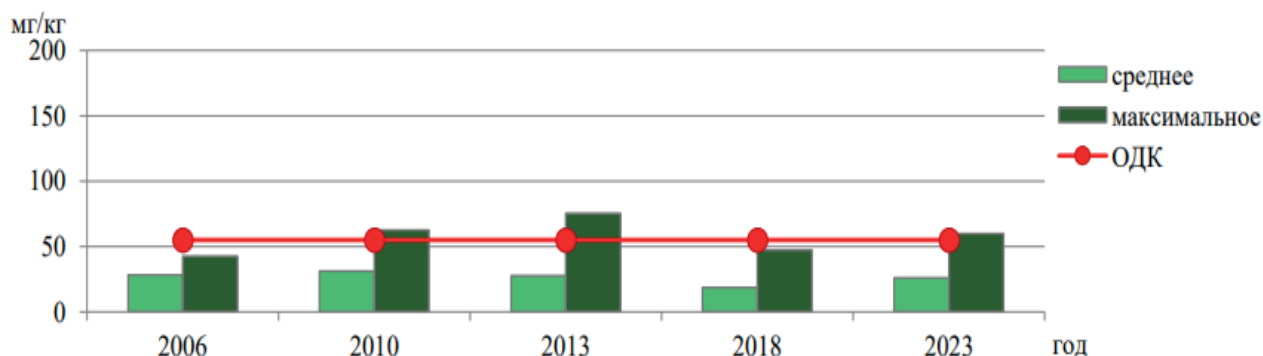


Рис. 2. Содержание цинка в почвах г. Солигорска по годам

Среднее и максимальное содержание меди в почвах остаётся на низком уровне, с небольшими колебаниями в разные годы (рис. 3).

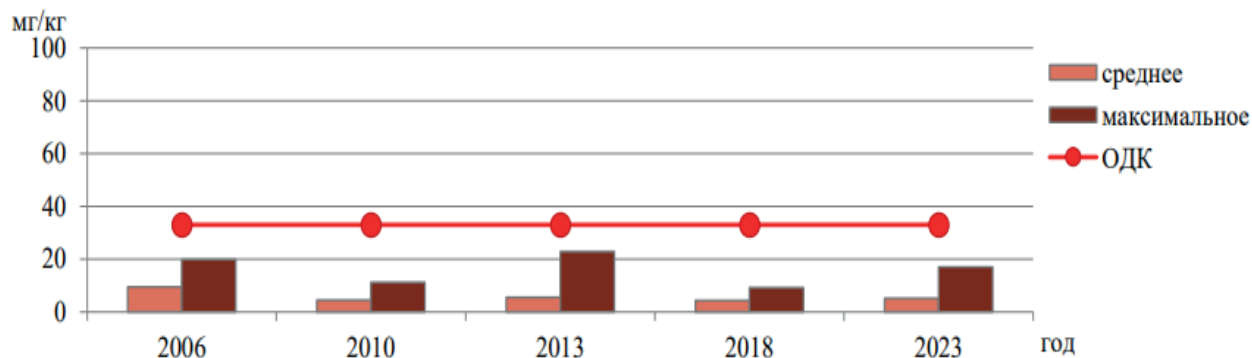


Рис. 3. Содержание меди в почвах г. Солигорска по годам

Среднее и максимальное содержание кадмия в почвах за годы исследований остаётся на низком уровне, с небольшими колебаниями, за исключением 2006 года, когда максимальное содержание кадмия превышало ОДК (рис. 4).

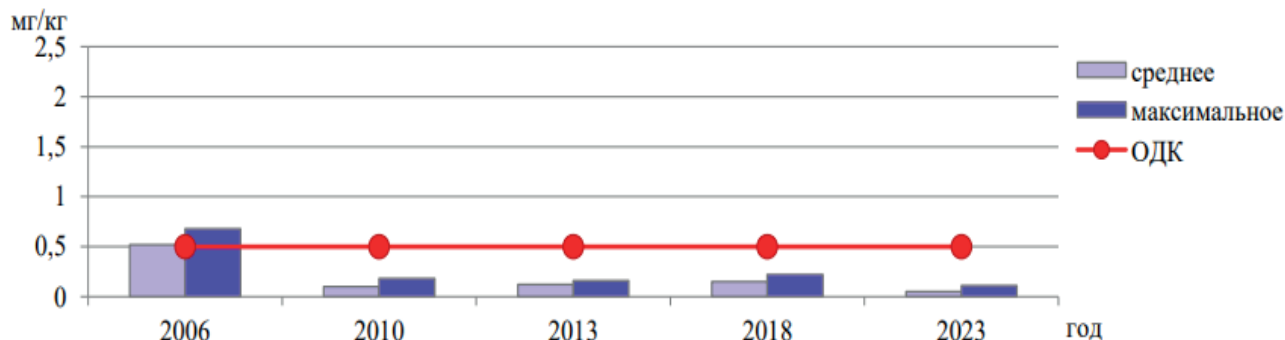


Рис. 4. Содержание кадмия в почвах г. Солигорска по годам

Исследования показали, что содержание никеля в почвах в период проведения наблюдения, изменялось не значительно и остаётся на стабильном низком уровне. Однако стоит об-

ратить внимание на то, что за последнее время (2023 г.) в отдельных случаях наблюдается увеличение максимального содержания этого элемента (рис. 5).

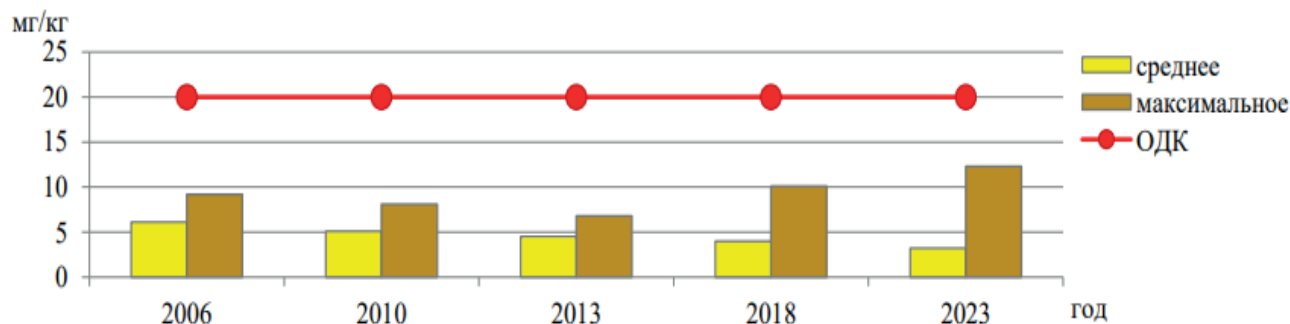


Рис. 5. Содержание никеля в почвах г. Солигорска по годам

Таким образом, анализ многолетних наблюдений содержания тяжелых металлов в почвах г. Солигорска показывает, что по основным контролируемым загрязняющим элементам (свинец, медь, кадмий, никель) наблюдается стабильная благоприятная ситуация, за исключением содержания цинка в отдельные годы (2010 г., 2013 г. и 2023 г.), концентрация которого на некоторых мониторинговых площадках превышала установленные нормативы.

Библиографические ссылки

1. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская [и др.]; под общей редакцией Д. В. Цубленок – Минск: РУП «ЦНИИКИВР», 2025 г. 198 с.
2. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. URL: <https://www.nsmos.by> (дата обращения: 15.02.26).

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЭРОИОННОГО СОСТАВА ВОЗДУХА В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

И. Н. Симонова¹⁾, М. С. Гордеев¹⁾

¹⁾ «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», ул. Германа Титова 28, 440028, г. Пенза, Россия, irina.simonova.79@mail.ru

В статье представлены результаты экспериментального исследования аэроионного состава воздуха в учебных кабинетах университета. Актуальность работы обусловлена высокими умственными нагрузками студентов и необходимостью оптимизации условий их обучения. В результате экспериментального исследования установлено, что к окончанию учебных занятий концентрация легких отрицательных аэроионов снижается ниже минимально допустимых значений, а коэффициент униполярности увеличивается, что свидетельствует о деградации ионного состава воздуха. Выявлена корреляция между ухудшением аэроионного состава и субъективными жалобами студентов на снижение работоспособности. Предложены рекомендации по оптимизации аэроионного режима, включая усиление вентиляции.

Ключевые слова: аэроионный состав воздуха; учебные аудитории; гигиена образовательной среды; коэффициент униполярности.

HYGIENIC ASSESSMENT OF AERIONIC COMPOSITION OF THE AIR IN EDUCATIONAL PREMICES

I. N. Simonova¹⁾, M. S. Gordeev¹⁾

¹⁾ "Penza State University of Architecture and Construction",
28 Herman Titov St. 440028, Penza, Russia, irina.simonova.79@mail.ru

This article presents the results of an experimental study of the aeroionic composition of air in university classrooms. The relevance of this study stems from the high mental workload of students and the need to optimize their learning conditions. The experimental study found that by the end of classes, the concentration of light negative aeroions decreases below the minimum permissible values, while the unipolarity coefficient increases, indicating a degradation of the ionic composition of the air. A correlation was found between the deterioration in aeroionic composition and subjective student complaints of decreased performance. Recommendations for optimizing the aeroionic regime, including increased ventilation, are proposed.

Keywords: aeroionic composition of air; classrooms; hygiene of the educational environment; unipolarity coefficient.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-152-155>

Современный образовательный процесс в высшей школе характеризуется интенсификацией обучения и значительным увеличением доли времени, которое студенты проводят в закрытых помещениях. Учебные кабинеты университетов являются средой обитания, где на студентов воздействует комплекс факторов: микроклиматические условия, освещение, электромагнитные поля и химический состав воздуха [6; 9]. Одним из важнейших, но часто недооцениваемых факторов является аэроионный состав воздуха.

Аэроионы – это электрически заряженные частицы, присутствующие в атмосфере. Согласно современным представлениям, легкие отрицательные аэроионы, преимущественно ионы кислорода, оказывают благотворное влияние на организм человека. Они стимулируют газообмен в легких, повышают тонус центральной нервной системы, улучшают тканевое дыхание и обладают адаптогенным действием [2; 7]. Напротив, избыток положительных аэроио-

нов коррелирует с развитием дискомфортных состояний: усталостью, головной болью, снижением концентрации внимания [2; 9].

В душных, непрветриваемых помещениях с большим скоплением людей и работающей оргтехники происходит интенсивная деионизация воздуха: тяжелые положительные ионы накапливаются, а легкие отрицательные – исчезают. Это приводит к формированию воздушной среды, неблагоприятной для умственной деятельности [3; 6]. Вопросам нормирования аэроионного состава посвящен СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений», который устанавливает допустимые диапазоны концентраций и коэффициент униполярности [5].

Однако на практике в образовательных учреждениях, как правило, не уделяется должного внимания контролю этого параметра [9].

Целью данной работы явилась гигиеническая оценка аэроионного состава воздуха в учебных кабинетах университета и разработка рекомендаций по его оптимизации.

Исследование проводилось на базе Пензенского университета архитектуры и строительства в зимний период 2026 года. Объектами исследования послужили 1 типовой учебный кабинет и одна лекционная аудитория аудитории 150 мест.

Измерения аэроионного состава воздуха выполнялись до проведения занятий и затем после каждой пары. Обычно у студентов в день бывает 3 пары, поэтому измерения проводились после каждого проведенного занятия и затем после проветривания помещения по завершению учебного дня.

Для проведения эксперимента использовался счетчик аэроионов МАС-01 на высоте 1,0–1,2 м от пола, то есть в зоне дыхания сидящего человека.

Оценивались следующие показатели: Концентрация легких аэроионов положительной (n^+) и отрицательной (n^-) полярности (ион/см³).

Коэффициент униполярности ($У$), рассчитываемый как отношение n^+ / n^- [1].

Полученные результаты сравнивались с гигиеническими нормативами [5]:

Нормативное значение коэффициента униполярности: $У = 0,4 – 1,0$.

Одновременно с инструментальными замерах проводилось анонимное анкетирование студентов для оценки субъективного самочувствия: наличия усталости, головной боли, снижения внимания в конце учебного дня.

В ходе исследования были выполнены замеры в лекционной аудитории, рассчитанной на 150 человек и типовом учебном кабинете, рассчитанном на 25 человек. Обобщенные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Аэроионный состав воздуха в типовом учебном кабинете (на 25 человек)

Время замера	Коэффициент униполярности $У$	Соответствие нормативу
До 1 пары (8.25)	0,6	Соответствует
После 1 пары (10.10)	1,2	Не соответствует
После 2 пары (11.50)	1,6	Не соответствует
После 3 пары (13.40)	2,5	Не соответствует
После проветривания	0,8	Соответствует

Таблица 2

Аэроионный состав воздуха в лекционной аудитории (на 150 человек)

Время замера	Коэффициент униполярности $У$	Соответствие нормативу
До 1 пары (8.25)	0,9	Соответствует
После 1 пары (10.10)	1,5	Не соответствует
После 2 пары (11.50)	2,9	Не соответствует
После 3 пары (13.40)	4,1	Не соответствует
После проветривания	1,4	Соответствует

Для более наглядной картины нами были сделаны диаграммы.



Рис. 1. Аэроионный состав воздуха в типовом учебном кабинете



Рис. 2. Аэроионный состав воздуха в лекционной аудитории

Анализ полученных данных показал следующее.

Исходное состояние до занятий, после ночного перерыва в проветривании, во всех обследованных помещениях отмечалось, что коэффициент униполярности соответствовал нормативу и не превышал 1. Уже после первой пары коэффициент униполярности не соответствовал норме, а точнее превышал 1. К концу учебного дня превышение было максимальным, что свидетельствовало о активном росте положительных аэроионов, которые оказывают неблагоприятное воздействие на самочувствие студентов.

При чем в лекционной аудитории рост положительно заряженных ионов имел значительную динамику, что объясняется присутствием большого количества людей и использования на лекциях дополнительных электронных устройств.

Таким образом коэффициент униполярности оказался наиболее чувствительным индикатором качества воздушной среды. К концу занятий он возрастал в геометрической прогрессии. В лекционной аудитории его значения превышали 4, при условии, что норма ограничивается 1.

Такой воздух, по данным литературы, является физиологически неполноценным и может расцениваться как фактор риска для здоровья [2; 7].

Результаты анкетирования коррелировали с данными инструментальных замеров. В дни проведения замеров 75% опрошенных студентов (45 из 60) отмечали выраженную усталость к концу третьей пары, 30% жаловались на головную боль, а 65% – на невозможность сконцентрироваться на материале.

Это является прямым доказательством, что снижение уровня отрицательной аэроионизации негативно сказывается на точности выполнения умственной работы и функциональном состоянии студентов [6] [3].

Таким образом, воздух учебных кабинетов к концу занятий перестает выполнять оздоравливающую функцию и становится фактором, усугубляющим утомление. Снижение n^- ниже 300 ион/см³ и рост коэффициента униполярности выше 5,0 являются маркерами «ионного голода» или дефицита отрицательных аэроионов.

Аэроионный состав воздуха в учебных кабинетах университета не соответствует гигиеническим нормативам и выражается в дефиците легких отрицательных аэроионов и резко завышенном коэффициенте униполярности, особенно к концу учебного дня. Выявлена связь между неудовлетворительным аэроионным составом и ростом субъективных жалоб студентов на утомление и снижение работоспособности.

Для оптимизации аэроионного состава воздуха в учебных помещениях рекомендуется обеспечить регулярное и эффективное сквозное проветривание помещений во время перемен [8], так как приток наружного воздуха является естественным способом нормализации ионного режима.

Проводить влажную уборку помещений перед началом занятий для осаждения тяжелых ионов и пылевых частиц.

Ввести в программу производственного контроля университета пункт по периодическому мониторингу аэроионного состава воздуха, особенно в зимний период, когда естественная ионизация минимальна, а проветривание затруднено.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ Р 8.846-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения аэроионного состава воздуха. Аэроионизаторы и генераторы аэроионов. Методы измерений параметров. М.: Стандартинформ, 2015.

2. Влияние аэроионов на здоровье человека // Приложение к лекциям по гигиене. – StudFile, 2025.

3. Курочкина А. Н. Особенности изменения аэроионного состава воздуха в учебных аудиториях : студенческая научная работа. СПб.: СПбПУ, 2024.

4. ГОСТ Р 8.845-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения аэроионного состава воздуха. Метод измерений объемной плотности электрического заряда воздуха и счетной концентрации легких аэроионов на основе аспирационного конденсатора. М.: Стандартинформ, 2015.

5. СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений. М.: Минздрав России, 2003.

6. Возрастные особенности влияния аэроионизации на функциональное состояние студентов / А. В. Лысенко [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2016. № 2 (132). С. 114-118.

7. Чижевский А. Л. Аэроионификация в народном хозяйстве. М.: Госпланиздат, 1960. 56 с.

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ МЕЛИОРАНТОВ

И. В. Скуратович¹⁾, Е. В. Зеленухо¹⁾

¹⁾ Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, i.skuratovich@bntu.by

В статье обосновывается актуальность использования отходов промышленного производства в качестве компонентов мелиорантов для восстановления деградированных и низкоплодородных земель: дигестата, осадка сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности, фосфогипса и золы от сжигания торфа. Приведены данные об объемах образования и классах опасности данных отходов. Выполнен анализ их физико-химических свойств. Особое внимание уделено результатам лабораторных исследований по оценке влияния различных доз внесения отходов (от 5 % до 20 %) на всхожесть тест-культур (озимой пшеницы и рапса).

Ключевые слова: рекультивация; мелиоранты; отходы производства; дигестат; осадок сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности; фосфогипс; зола торфа; физико-химические свойства; лабораторная всхожесть; экологическая безопасность.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF USING INDUSTRIAL WASTE AS COMPONENTS OF LAND RECLAMATION

I. V. Skuratovich¹⁾, A. V. Zelianukha¹⁾

¹⁾ Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65,
220013, Minsk, Belarus, i.skuratovich@bntu.by

The article demonstrates the relevance of using industrial waste as ameliorants for the restoration of degraded and low-fertility lands: digestate, wastewater sludge from the pulp and paper industry, phosphogypsum, and ash from peat combustion. Data on the generation volumes and hazard classes of these wastes are presented. An analysis of their physicochemical properties is carried out. Special attention is paid to the results of laboratory studies assessing the impact of different waste application rates (from 5 % to 20 %) on the germination of test crops (winter wheat and oilseed).

Keywords: recultivation; ameliorants; industrial waste; digestate; pulp and paper industry wastewater sludge; phosphogypsum; peat ash; physicochemical properties; laboratory germination; environmental safety.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-156-159>

На современном этапе развития общества рекультивация деградированных, техногенно-нарушенных и низкоплодородных земель является актуальной задачей. Применение мелиорантов – один из эффективных способов улучшить качество почв, повысить продовольственную безопасность и восстановить равновесие в экосистемах. Традиционно в состав мелиорантов входят известковые материалы, торф, сапропель, опилки, перегной и другие. Отходы производства в меньшей мере используются в качестве компонентов мелиорантов, однако некоторые виды промышленных отходов перспективны в данном направлении, так как могут восполнить как органическую, так и минеральную составляющую почвы, обеспечив быстрое восстановление растительного покрова. Кроме того, вовлечение отходов в хозяйственный оборот выгодно с экологической и экономической точки зрения, так как сокращаются площади земель, отведенных на захоронение отходов, уменьшаются экологические платежи, появляется новый продукт, реализация которого приносит прибыль.

Расширить базу потенциальных мелиорантов можно за счет как органических отходов производства: шлама биогазовых технологий (дигестата), осадка сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП), так и минеральных: фосфогипса, золы.

На первом этапе работы была проведена оценка объемов образования отходов производства Республики Беларусь, которые возможно использовать в качестве компонентов мелиорантов (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика отходов производства

Наименование отходов	Место образования	Объемы образования, тыс. т/год	Код отхода	Класс опасности
Дигестат	Биогазовые установки	≈ 3300	–	4
Осадок сточных вод ЦБП	Предприятия по производству бумаги и картона	≈ 14*	1841000	4
Фосфогипс	ОАО «Гомельский химический завод»	≈ 800**	3144501	4
Зола от сжигания торфа	Организации, входящие в состав ГПО «Белтопгаз»	≈ 21	3130400	3

*Годовой объем образования на ОАО «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда»,

**Накоплено в отвалах порядка 25 млн. тонн.

Как видно из таблицы 1, все виды отходов относятся к крупнотоннажным, что позволяет планировать получение мелиорантов на постоянной основе.

На следующем этапе работы проведена оценка физико-химических свойств отходов (табл. 2). Свойства дигестата зависят от исходного сырья, а также от технологий, применяемых на биогазовых установках. При проведении исследований использовался образец дигестата биогазовой установки, полученный после анаэробного сбраживания комбинированного сырья (отходов животноводства и кукурузного силоса). Образец осадка сточных вод ЦБП был взят на ОАО «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда», осадок был предварительно высушен и измельчен. Отходы золы от сжигания торфа были взяты на ТБЗ «Усяж».

Таблица 2

Основные физико-химические свойства отходов производства

Показатель	Дигестат	Осадок сточных вод ЦБП	Фосфогипс	Зола от сжигания торфа
Агрегатное состояние	Твердое	Твердое	Твердое	Твердое
Цвет	Коричневый	Серый	Серовато-белый	Светло-серый
Запах	Едва ощутимый навозный	Сырой бумаги	Отсутствует	Едва ощутимый землистый
Влажность, %	40,38	5,03	40-44	менее 1%
рН	8,1	8,0	3,6-6,0	10,0
Насыпная плотность, кг/м ³	114	212	1470-1670	600-1100
Удельная эффективная активность, Бк/кг	92	31	16	106

Дигестат, являясь дополнительным продуктом анаэробного сбраживания органических отходов, представляет собой сложную смесь органических и неорганических веществ. В его составе содержатся макроэлементы, такие как азот (N), фосфор (P) и калий (K), которые входят в тройку основных элементов питания, используемых в удобрениях. Распределение питательных веществ в дигестате представлено в табл. 3.

Распределение питательных веществ в дигестате

Дигестат	Сухой остаток, %	Общий азот, кг/т	Аммоний, кг/т	Фосфор, кг/т	Калий, кг/т
	2,8	5,0	4,0	0,9	2,8

Помимо макроэлементов, дигестат содержит ряд микроэлементов, которые также играют важную роль в агрохимии почв и физиологии растений. Среди них – железо (Fe), медь (Cu), марганец (Mn), цинк (Zn) и бор (B). Эти элементы присутствуют в меньших количествах (в диапазоне от нескольких мг/л до десятков мг/л), но они участвуют в процессах фотосинтеза, азотного обмена и укрепления клеточной стенки растений. Соотношение макро- и микроэлементов в дигестате зависит от вида и состава исходного сырья – навоз, птичий помет, кукурузный силос, пищевые отходы.

Осадок сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) – это сложная смесь, состоящая преимущественно из древесных волокон (целлюлоза, лигнин), минеральных наполнителей (мел, каолин, диоксид титана), избыточного активного ила, остатков химикатов (смола, щелочи, хлорорганические соединения при отбелке), а также органических веществ. Состав существенно зависит от типа производства (сульфатное или сульфитное), вида выпускаемой продукции (беленая или небеленая целлюлоза) и используемой технологии очистки.

В фосфогипсе содержится более 70 % кальция сульфат дегидрата. Наиболее токсичные примеси – фтористые соединения в количестве до 0,25 % (в водорастворимой форме).

Зола от сжигания торфа состоит преимущественно из соединений кальция, кремния, фосфора, калия и магния, но не содержит азота.

Далее в работе были проведены исследования по оценке влияния отходов производства на лабораторную всхожесть культур. Для этого были подготовлены пять субстратов, путем добавления к почве отходов в разных соотношениях (для торфяной золы использовался мелиорант на основе торфа в соотношении 70:30. В качестве тест-культур для проведения лабораторных опытов были выбраны рапс и озимая пшеница, которые могут быть использованы в технических целях, а также широко распространены в Республике Беларусь.

В ходе эксперимента оценивалась лабораторная всхожесть семян как в контрольной пробе (без добавления отходов), так и в субстратах с различным содержанием отходов (5 %-20 %). В качестве контрольной пробы была выбрана почва, отобранная в районе воздействия калийного производства (техногенно-нарушенная). Всхожесть определяли как процентное соотношение всходов озимой пшеницы и рапса к общему количеству высаженных семян. Результаты экспериментальных исследований лабораторной всхожести тест-культур приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты экспериментальных исследований лабораторной всхожести тест-культур, %

Наименование культуры	Контрольная проба	Содержание мелиоранта, %			
		5	10	15	20
Дигестат					
Озимая пшеница	80	88	91	83	82
Рапс	75	92	85	80	78
Осадок сточных вод ЦБП					
Озимая пшеница	80	86	88	85	83
Рапс	75	85	80	77	76
Фосфогипс					
Озимая пшеница	80	86	90	82	80
Рапс	75	90	85	71	68
Зола от сжигания торфа					
Озимая пшеница	80	84	86	81	78
Рапс	75	80	82	76	73

Как следует из таблицы 4, внесение мелиорантов оказало положительное влияние на всхожесть семян по сравнению с контрольными значениями, однако эффект зависел от типа мелиоранта, его концентрации и вида культуры. Наибольший стимулирующий эффект показало применение дигестата и фосфогипса. Максимальная всхожесть для озимой пшеницы зафиксирована при концентрации 10%, а для рапса – при 5%. Применение осадка сточных вод ЦБП способствовало росту всхожести рапса до 85% при дозе 5%. Для пшеницы оптимальной оказалась концентрация 10%. Зола от сжигания торфа обеспечила стабильное, хотя и умеренное, повышение всхожести обеих культур. Оптимум для пшеницы и рапса наблюдался при концентрации 10%. Этот мелиорант показал наименьшую вариабельность результатов при увеличении дозы.

Применение отходов производства в качестве компонентов мелиорантов способствует структуризации почвы, снижению кислотности (зола, осадок сточных вод, дигестат), увеличивает всхожесть и морфометрические показатели. Фосфогипс можно рекомендовать для улучшения структуры и водопроницаемости тяжелых и засоленных почв, т.к. гипс, который входит в состав отхода замещает натрий на кальций.

Библиографические ссылки

1. Использование фосфогипса при рекультивации засоленных земель / А. А. Цыганова [и др.] // Вестник БрГТУ 2025. С. 165–170.

2. Использование мелиоранта на основе торфяной золы для рекультивации техногенно нарушенных земель / Е. В. Зеленуха [и др.] // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов: сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию научной школы в области исследования модернизации экономики Белорусского национального технического университета, 22 декабря 2023 г. / редкол.: С. Ю. Солодовников (пред.) [и др.]. Минск: БНТУ, 2023. С. 190.

3. Обоснование использования биогаза для производства энергии в Республике Беларусь / Е. В. Зеленуха [и др.] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2024. №6. С. 530–543.

4. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Безопасность жизнедеятельность человека» для специальности 6-05-0311-02 «Экономика и управление» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Инженерная экология»; сост.: А. А. Хрипович [и др.]. Минск: БНТУ, 2025.

5. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Стратегия более чистого производства» для специальности II ступени высшего образования 1-33 80 01 «Экология» [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Инженерная экология»; сост.: А. А. Хрипович, И. В. Скуратович. Минск: БНТУ, 2021.

THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE MOBILITY OF MANGANESE (Mn) AND ARSENIC (As) IN SEDIMENT: THE CASE OF BOĞAZIÇI LAKE (MUĞLA, TÜRKİYE)

M. Toraman¹⁾, M. Döndü¹⁾, F. Keskin¹⁾, A. Demirak¹⁾

¹⁾ Environmental Problems Research and Application Center, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, 48000, Türkiye

The effects of climate-related environmental variables—temperature, salinity, and pH—on the mobilization of Mn and As were investigated in sediment samples from Boğaziçi Lake in the Milas district of Muğla province, Turkey. It was determined that Mn was strongly affected by both temperature and pH, and its mobilization increased with increasing salinity; As, on the other hand, exhibited a complex relationship with temperature. Sediment samples were separated into four fractions using the Bureau Communautaire de Référence (BCR) sequential extraction method, and the metals in each fraction were analyzed using ICP-OES. The findings showed that Mn had high mobility in the exchangeable and reducible fractions, while As was detected only in the residual phase, and its distribution in other fractions could not be determined. In conclusion, temperature, pH, and salinity were found to influence the mobilization of Mn and As in the sediments of Boğaziçi Tuzla Lake.

Keywords: sediment; Mn; As; ICP-OES; mobilization; pH; temperature; chemical fraction.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПОДВИЖНОСТЬ МАРГАНЦА (Mn) И МЫШЬЯКА (As) В ОСАДКАХ: ПРИМЕР ОЗЕРА БОАЗИЧИ (МУГЛА, ТУРЦИЯ).

М. Тораман¹⁾, М. Донду¹⁾, Ф. Кескин¹⁾, А. Демирак¹⁾

¹⁾ Центр исследований и применения экологических проблем, Университет Мугла Ситки Коцман, Мугла, 48000, Турция

Влияние переменных окружающей среды, отражающих изменение климата, таких как температура, соленость и pH, на мобилизацию Mn и As было исследовано в образцах осадка, взятых из озера Богазичи в районе Милас провинции Мугла, Турция. Было установлено, что на Mn сильно влияют как температура, так и pH, и его мобилизация увеличивается с повышением солености; As, с другой стороны, демонстрирует сложную зависимость времени от температуры. Образцы осадка были разделены на четыре фракции с использованием метода последовательной экстракции Бюро по стандартизации (BCR), и металлы в каждой фракции были проанализированы с помощью прибора ICP-OES. Результаты показали, что Mn обладает высокой подвижностью в обменной и восстанавливаемой фракциях, в то время как As был обнаружен только в остаточной фазе, и его распределение в других фракциях определить не удалось. В заключение было установлено, что температура, pH и соленость, отражающие изменение климата, влияют на мобилизацию Mn и As в осадке озера Богазичи-Тузла.

Ключевые слова: осадок; Mn; As; ICP-OES; мобилизация; pH; температура; химическая фракция.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-160-162>

Introduction. Climate change-related events such as rising temperatures and changing precipitation patterns affect biogeochemical cycles in aquatic ecosystems [1]. These changes directly affect the mobility of manganese (Mn) and arsenic (As) ions, which are redox-sensitive elements accumulating in sediments [2]. This situation increases the risk of sediments becoming a secondary source of pollution due to the effects of climate change [3]. The aim of this study is to investigate the effect of climate-induced salinity, pH, and temperature changes on the mobility of Mn and As in the sediment of a lake under drought stress.

Materials and methods. Sediment samples were collected from a total of 8 points in the Tuzla Lake of the Bosphorus, located in the southwest of Turkey at coordinates 37, 12' north, 28, 21 east, under climate stress, using an Eckmann's net and brought to the laboratory in 1L plastic containers. After drying, the samples were sieved using a 2 mm diameter sieve to obtain a homogeneous structure. All experimental studies were carried out using this samples. The artificial seawater prepared according to Kester et al., 1967 [4] was accepted as 100% seawater. Waters used for salinity differences in the studies were obtained by diluting this prepared water at 1/2 and 1/4 ratios. Pure water was used as fresh water. 25 g of sediment was placed in 50 mL plastic Erlenmeyer flasks, and 50 mL of the water prepared in 4 different categories was added to each metal to obtain different sample containers. In the experiment, the time intervals were determined as 6, 12, 24, 48, 72 and 96 hours. Measurements were performed in 3 replicates. The samples were standardized to two different pH values, 5.5 and pH 6.5, using acetate and phosphate buffers. pH, conductivity and temperature measurements were performed with a Hanna HI9828 Multiparameter instrument. The sediment samples, prepared for analysis, were filtered after microwave thawing, placed in 50 mL volumetric flasks and completed with distilled water. Total metal analysis was performed. The chemical fractions of the sediment samples were obtained using the chemical sequential extraction method of the modified BCR procedure [5]. Total and fraction analyses of Mn and As were performed with an Agilent Technologies 5100 ICP-OES.

Results.

The results of total Mn and As analysis and chemical fraction analysis obtained by the BCR method are given in the table

Metals	F1	F2	F3	F4	Total
Mn (mg/kg)	154.25±0.038	421.85±0.635	167.75±0.493	243.92±0.045	988.77
As (µg/kg)	ND	ND	ND	6479.34±1.353	6479.34

ND: Not Determined.

Discussion and conclusion. More than 72% of the total Mn in the sediment (F1+F2) is in easily mobilized fractions. These values indicate that large amounts of Mn can be released from the sediment into the water, especially due to changes in oxygen levels in the lake (seasonal hypoxia/anoxia). This situation could pose a risk to the aquatic life of the region.

When arsenic was measured at ppb levels, the concentrations of all fractions except the residual fraction were found to be below the measurement sensitivity. Therefore, it is difficult to speculate on the mobilization and bioavailability potential of this metal in the sediment under natural conditions in the study area. However, it was observed that arsenic in the sediment does not pose an environmental risk.

To investigate the effects of salinity and temperature on manganese mobility in sediment, a sediment-water 1:2 (w/v) mixture was incubated in shaker incubators at different temperatures and water types for specific periods, and the concentrations of Mn that passed into the water phase were measured. The data revealed that Mn concentrations varied significantly depending on both temperature and solution type (salinity). At 25 °C, 40 °C, and 45 °C, Mn concentrations generally increased over time in all solution types. This increase became particularly pronounced after 24 hours and continued until 72–96 hours. This indicates that Mn is mobilized slowly and continuously from the sediment. At 50 °C, however, dramatic decreases in Mn concentrations were observed at 72 and 96 hours, especially in freshwater and seawater mixtures (e.g., 0.06 ppm in freshwater at 96 hours, 0.01 ppm in 50 % seawater). High temperatures can accelerate the conversion of Mn from soluble form (Mn²⁺) to insoluble forms (e.g., manganese oxides (MnO₂) or carbonates (MnCO₃)), oxidation, and precipitation processes [6]. Therefore, the precipitated forms of Mn may not have been measured. In addition, manganese re-adsorption and microbial activity may also have contributed to this decrease. At all pH values and time periods, it was observed that

Mn concentrations changed significantly depending on the salinity of the solution. Concentrations generally ranked as follows: Seawater > 50 % Seawater > 25 % Seawater > Freshwater. This indicates that environments with high ionic strength increase Mn mobilization.

As concentrations generally showed an increasing trend over time; however, this increase was not linear, and decreases were observed in some solutions after a certain period. This indicates that arsenic is initially mobilized rapidly from sediment, but its concentration can change over time due to processes such as re-adsorption, precipitation, or chemical transformations. The effect of temperature increases on As concentrations varies depending on the solution type and time. In general, it was observed that temperature increase plays a role in enhancing As mobilization. These results show that temperature increase (e.g., due to climate change or industrial processes) can increase the risk of arsenic mobilization in sediments; however, the chemical composition of the water (especially salinity) can mitigate this risk. In environments with high ionic strength, such as seawater, temperature increase may pose a greater threat for arsenic pollution. In freshwater systems, mobilization may be shorter-lived and may show a decreasing trend over time.

The concentration of manganese (Mn) in the F1 (variable) fraction is 3,095 ppm, which is quite high compared to the blank value and constitutes approximately 19 % of the total Mn. This indicates that a significant portion of Mn is highly readily absorbed into and taken up by the water column. High mobility of Mn in sediment has been determined. Average measurements of Mn concentrations passing from sediment into water over all time periods (6, 12, 24, 48, 72, and 96 hours) show variations between 0.523 ppm (3 %) and 1.370 ppm (8%) in freshwater, and between 1.698 ppm (10 %) and 3.655 ppm (22 %) in seawater. It was determined that manganese is released more from sediment into seawater, with Mn in the F1 fraction easily passing into seawater; however, this is more limited in freshwater.

Although no mobile fractions of arsenic (As) were detected, it was determined that As present in the sediment was released into the seawater environment at levels between 4,300 ppm (13%) and 4,750 ppm (14%), and into the freshwater environment at levels between 2,850 ppm (12%) and 5,260 ppm (16%). It was determined that the release of As into seawater was more stable, while its release into freshwater was more variable.

The results suggest that sediment-derived Mn pollution may be at a higher risk in aquatic environments where pH approaches neutral and salinity is high (e.g., estuaries or coastal areas).

References

1. *Paramsothy Jeyakumar* Copper and zinc dynamics and bioavailability in soils amended with biosolids A thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Soil Science at Massey University, Palmerston North, New Zealand. 2010.
2. Climate change impacts on the leaching of a heavy metal contamination in a small lowland catchment/ Ate Visser [et al.] // *Journal of Contaminant Hydrology* 127 (2012) 47–64
3. The impact of climate change on the flux and fate of metals in freshwater systems: Implications for metal exposure across different scales / Farhan R. Khan [et al.] // *Environmental Research* 287 (2025) 123057
4. Preparation of artificial seawater / D. R. Kester [et al.] // *Limnology and Oceanography*, (1967). 12(1), 176–179.
5. Speciation of heavy metals by modified BCR sequential extraction procedure / K. Nemati [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*, (2011). 192(1), 402–410.
6. *Jahanirad M., Nasrabadi T., Karbassi A.* (2023). Role of Salinity and Oxidation-Reduction Potential in Mobility of Heavy Metals in Suspended Sediments at Estuarine Zone. *Pollution*, 9 (2), 756-765. <http://doi.org/10.22059/POLL.2022.350296.1672>

АНАЛИЗ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Е. А. Улащик¹⁾, В. А. Курлович¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, ulasikekaterina@gmail.com, Infirosfity@gmail.com

Деградация почв в Беларуси носит комплексный характер и обусловлена как природными, так и антропогенными факторами. Одной из наиболее распространённых форм деградации почв в Беларуси является эрозия. Эрозионные процессы затрагивают около 556,5 тыс. га сельскохозяйственных земель, что составляет примерно 7,2 % их общей площади. На пахотных землях доля эродированных почв еще выше и достигает 9,4 %. Основную роль играет водная эрозия, на которую приходится около 84 % всех эрозионных процессов, тогда как доля ветровой эрозии составляет около 16 %. Серьёзную проблему для Беларуси представляет деградация осушенных торфяных почв. В настоящее время площадь деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель составляет около 313,8 тыс. га, что соответствует примерно 4,2 % всех сельскохозяйственных угодий республики. Также около 20% сельскохозяйственных угодий загрязнены радионуклидами после аварии на Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: почвы; деградация почв; эрозия; земельный фонд; сельскохозяйственные земли; нерациональное землепользование; плодородие почв.

ANALYSIS OF SOIL DEGRADATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Е. А. Ulashchyk¹⁾, U. A. Kurlovich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, ulasikekaterina@gmail.com, Infirosfity@gmail.com

Soil degradation in Belarus is complex, resulting from both natural and anthropogenic factors. One of the most common forms of soil degradation in Belarus is erosion. Erosion processes affect approximately 556.5 thousand hectares of agricultural land, which is about 7.2% of the total area. On arable land, the proportion of eroded soils is even higher, reaching 9.4%. Water erosion dominates, accounting for approximately 84% of all erosion processes, while wind erosion accounts for about 16%. The degradation of drained peat soils is a serious problem for Belarus. Currently, the area of degraded peat soils on agricultural land is about 313.8 thousand hectares, which corresponds to approximately 4.2% of all agricultural land in the republic. Additionally, about 20% of agricultural land is contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident.

Keywords: soils; soil degradation; erosion; land resources; agricultural land; irrational land use; soil productivity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-163-167>

Земельный фонд Республики Беларусь является основой функционирования большинства отраслей экономики, прежде всего сельского хозяйства. В последние десятилетия в стране наблюдается усиление процессов деградации почв, вызванных сочетанием природных и антропогенных факторов. Эти процессы проявляются в разрушении плодородного слоя, снижении содержания органического вещества, ухудшении структуры почвы и загрязнении земель различными химическими соединениями.

Общая площадь земель страны составляет 20762,9 тыс. га. Структура земельного фонда характеризуется значительной долей сельскохозяйственных и лесных земель. По состоянию на

2025 г. земли сельскохозяйственного фонда занимают около 38,2 % территории страны, тогда как земли лесного фонда составляют 43,7 % (рис. 1) [1].

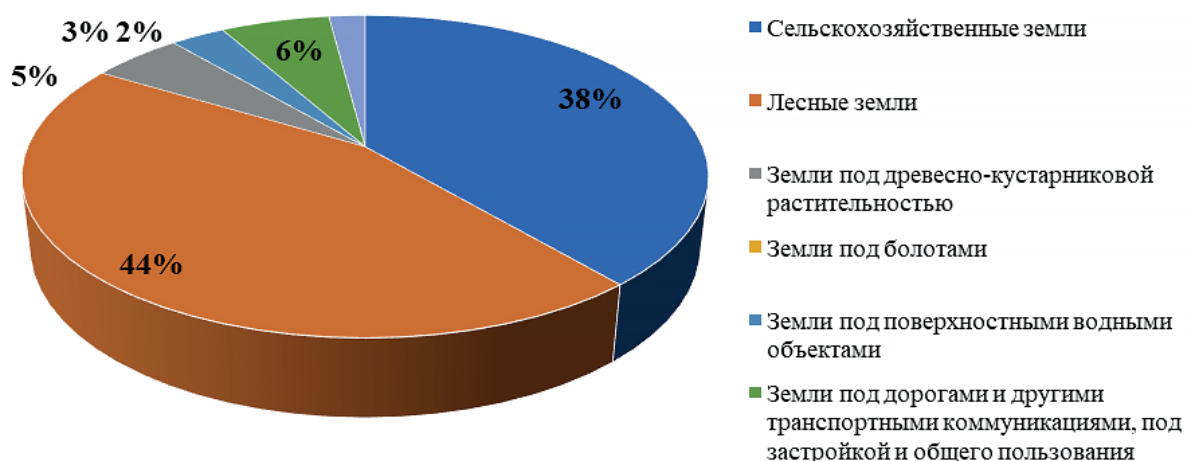


Рис. 1. Структура земельного фонда Республики Беларусь по видам земель (на 1 января 2025 г.)

В последние годы в структуре землепользования наблюдаются заметные изменения. Площадь сельскохозяйственных земель постепенно сокращается, в то время как лесные территории демонстрируют рост. Так, в 2024 г. площадь сельскохозяйственных земель уменьшилась на 106,3 тыс. га, тогда как площадь лесных земель увеличилась (табл. 1).

Таблица 1

Изменение структуры земельного фонда Республики Беларусь

Вид земель	Площадь, тыс. га	
	2024 г.*	± в 2024 г. по сравнению с 2023 г.
1	2	3
Сельскохозяйственные земли	7930	- 106,3
Лесные земли	9078	+ 49,2
Земли под древесно-кустарниковой растительностью	1034	+ 46,7
Земли под болотами	710,5	- 15,3
Земли под поверхностными водными объектами	465,3	+ 0,7
Земли под дорогами и другими транспортными коммуникациями	362	- 2,9
Земли под застройкой	588,3	+ 35,9
Земли общего пользования	102,9	- 4,1
Нарушенные, неиспользуемые и иные земли	491,9	- 3,9

*данные по состоянию на 1 января 2025 г.

Высокая степень освоенности территории является одной из характерных особенностей землепользования в Беларуси. Значительную роль в формировании современной структуры сельскохозяйственных земель сыграли мелиоративные мероприятия. Осушительные системы позволили вовлечь в сельскохозяйственный оборот обширные площади заболоченных территорий. По состоянию на 1 января 2025 г. площадь мелиорированных земель составляет 3454,8 тыс. га, что соответствует примерно 16,64 % территории страны. Наибольшая доля осушенных земель приходится на Брестскую область, где сосредоточено около 22,8 % всех мелиорированных территорий (табл. 2). В то же время площадь орошаемых земель остается сравнительно небольшой и составляет около 25,8 тыс. га. Несмотря на значительный вклад мелиорации в развитие сельского хозяйства, осушение болотных

экосистем привело к изменениям гидрологического режима и стало одним из факторов деградации почвенного покрова.

Таблица 2

**Распределение мелиорированных земель
по административным областям Беларуси в 2023 г.**

Наименование административно-территориальной единицы	Площадь осушенных земель		Площадь орошаемых земель	
	тыс.га	%*	тыс.га	%**
Брестская область	739,5	22,8	4,2	16,3
Витебская область	601,6	18,5	2,0	7,8
Гомельская область	556,3	17,1	1,8	7,0
Гродненская область	318,0	9,8	0,8	3,1
Минская область	705,8	21,7	1,9	7,4
Могилевская область	328,0	10,1	15,1	58,5
Республика Беларусь	3249,2	100,0	25,8	100,0

* % от общей площади осушенных земель.

** % от общей площади орошаемых земель

Сельскохозяйственные земли Беларуси характеризуются высокой степенью распаханности. Пахотные угодья занимают около 69,6 % сельскохозяйственных земель, улучшенные луга – 20,7 %, естественные луга – 8,7 %, а постоянные культуры и залежные земли занимают незначительную долю.

Одной из наиболее серьезных проблем современного землепользования является деградация почв. На территории Республики Беларусь выделяется более двадцати форм деградационных процессов. К наиболее распространённым относятся водная и ветровая эрозия, дегумификация, минерализация осушенных торфяных почв, химическое и радиоактивное загрязнение, а также физическая деградация почв. Эти процессы приводят к разрушению плодородного слоя, снижению содержания гумуса и ухудшению агрохимических свойств почвы [2].

Одной из наиболее распространённых форм деградации почв в Беларуси является эрозия. Эрозионные процессы затрагивают около 556,5 тыс. га сельскохозяйственных земель, что составляет примерно 7,2 % их общей площади (табл. 3).

Таблица 3

Эродированность почв по областям (сельскохозяйственные земли)

Область	Площади эродированных земель			
	всего		в том числе	
	тыс. га	%	водная, %	ветровая, %
Брестская	59,9	4,1	3,2	0,9
Витебская	121,1	9,2	8,9	0,3
Гомельская	33,7	2,7	1,0	1,7
Гродненская	107,1	9,7	7,8	1,9
Минская	130,6	8,3	7,0	1,3
Могилевская	113,0	9,1	8,9	0,2
Республика Беларусь	556,5	7,2	6,1	1,1

На пахотных землях доля эродированных почв еще выше и достигает 9,4 %. Основную роль играет водная эрозия, на которую приходится около 84 % всех эрозионных процессов, тогда как доля ветровой эрозии составляет около 16 %. В целом площадь земель, находящихся в эрозионно-опасной зоне, оценивается примерно в 4 млн га, что соответствует почти пятой

части территории страны. Наиболее подвержены эрозии территории с холмисто-моренным рельефом и интенсивным сельскохозяйственным использованием.

Серьёзную проблему для Беларуси представляет деградация осушенных торфяных почв. После осушения торфяники подвергаются интенсивной минерализации, что сопровождается уменьшением мощности торфяного слоя. По результатам исследований установлено, что толщина торфяной залежи может уменьшаться со скоростью от 1 до 12 см в год, составляя в среднем 2–3 см ежегодно. В настоящее время площадь деградированных торфяных почв в составе сельскохозяйственных земель составляет около 313,8 тыс. га, что соответствует примерно 4,2 % всех сельскохозяйственных угодий республики. Кроме того, около 223 тыс. га торфяных месторождений уже полностью деградированы, утратив значительную часть торфяного слоя.

Важным фактором деградации почвенного покрова является химическое и радиоактивное загрязнение земель. В результате радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской атомной электростанции значительные площади сельскохозяйственных земель оказались загрязнены радионуклидами. Несмотря на постепенное снижение уровня радиации вследствие естественного распада изотопов, проблема сохраняет свою актуальность (рис. 2) [3; 4].

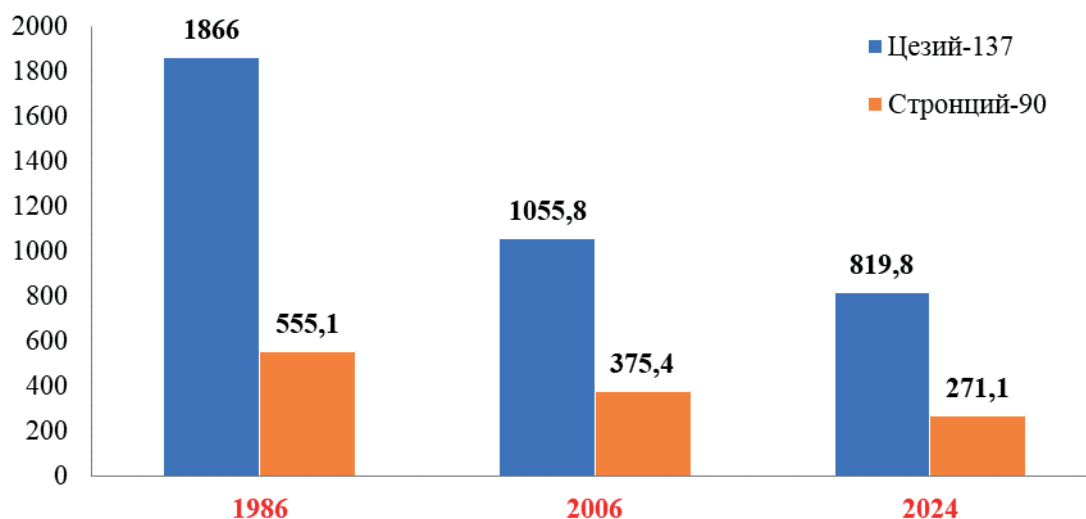


Рис. 2. Площадь сельскохозяйственных земель, загрязненные радионуклидами

Нерациональное землепользование также оказывает существенное влияние на состояние почвенных ресурсов. За последние десятилетия Беларусь потеряла более 2 млн га пахотных земель, что составляет около 19 % их первоначальной площади. Расширение промышленной и транспортной инфраструктуры, а также недостаточно эффективный контроль за использованием земель приводят к дальнейшему сокращению сельскохозяйственных территорий и усилению деградационных процессов.

Деградация почв имеет не только экологические, но и серьёзные экономические последствия. Потеря даже одного миллиметра плодородного слоя почвы может приводить к снижению урожайности сельскохозяйственных культур на 1–2 %. По оценкам специалистов, стоимость плодородного слоя одного гектара пахотных земель достигает 20 тысяч долларов США. Таким образом, деградация земель приводит к значительным экономическим потерям для сельского хозяйства и государства в целом.

В современных условиях рациональное использование земельных ресурсов становится одной из ключевых задач устойчивого развития Республики Беларусь. Сохранение плодо-

родия почв требует комплексного подхода, включающего совершенствование агротехнологий, контроль за применением агрохимикатов, внедрение почвозащитных методов земледелия и проведение мероприятий по восстановлению деградированных земель. Только при условии эффективного управления земельными ресурсами возможно сохранить почвенный потенциал страны и обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства в долгосрочной перспективе.

Библиографические ссылки

1. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь // Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. URL: <http://www.gki.gov.by/>. (дата обращения: 16.01.2026).

2. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2. С. 7–18.

3. Загрязнение сельскохозяйственных земель стронцием-90: динамика, современное состояние, территориальное распространение / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2024. №3. С. 100–106.

4. Загрязнение сельскохозяйственных земель цезием-137: динамика, современное состояние, территориальное распространение / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Природные ресурсы. 2025. №1. С. 42–48.

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Е. А. Улащик¹⁾, У. И. Кухаренко¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, ulasikekaterina@gmail.com, uljnakucharenko2006@gmail.com

В Республике Беларусь увеличение объемов потребления, урбанизация и изменение структуры хозяйственной деятельности приводят к устойчивому росту образования твердых коммунальных отходов ($\approx 3,7$ – $4,0$ млн. тонн ежегодно). Из них $\approx 60\%$ направляются на полигоны захоронения, что вызывает загрязнение почв, водных ресурсов и атмосферного воздуха, а также оказывает негативное влияние на здоровье населения и состояние экосистем. В связи с этим возрастает необходимость совершенствования системы управления отходами, внедрения эффективных методов их сбора, переработки и утилизации.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы (тко); захоронение отходов; загрязнение почв; водные ресурсы; продукты разложения; выбросы загрязняющих веществ; здоровье населения; обращение с отходами; воздействие на окружающую среду.

THE IMPACT OF MUNICIPAL SOLID WASTE ON THE ENVIRONMENT AND PUBLIC HEALTH

Е. А. Ulashchyk¹⁾, U. I. Kukharenko¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute
of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1,
220070, Minsk, Belarus, ulasikekaterina@gmail.com, uljnakucharenko2006@gmail.com

In the Republic of Belarus, rising consumption levels, urbanization, and shifts in economic structure have led to a steady increase in the generation of municipal solid waste (MSW), reaching approximately 3.7–4.0 million tons annually. About 60% of this volume is disposed of in landfills, resulting in contamination of soil, water resources, and the atmosphere, while also adversely affecting public health and ecosystem stability. Consequently, there is a growing need to enhance the waste management system and implement effective methods for waste collection, recycling, and disposal.

Keywords: municipal solid waste (MSW); landfilling; soil contamination; water resources; decomposition products; pollutant emissions; public health; waste management; environmental impact.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-168-171>

В Республике Беларусь вопросы управления отходами стоят также остро, как и во всем мире. Отходы превращаются в проблему, представляющую угрозу экологической безопасности и здоровью человека. Они отрицательно влияют на окружающую среду, включая земельные ресурсы, недра, поверхностные и подземные воды, леса и иную растительность, а также на среду обитания животных, воздушную среду и иные компоненты, и объекты окружающей среды [1].

Ежегодный объем образования твердых коммунальных отходов (ТКО) в Республике Беларусь начиная с 2010 по 2024 гг. сохраняется в диапазоне от 3,7 до 4,0 млн. тонн. Однако следует отметить, что за аналогичный период времени наблюдается увеличение количества отходов ТКО на душу населения. Так в 2010 г. данный показатель составлял ≈ 390 кг на чел., а на конец

2024 г. он составил ≈ 467 кг на чел. Таким образом, за 14 лет наблюдается рост количества отходов ТКО на душу населения почти на 20%, что можно объяснить: увеличением уровня потребления товаров; расширением использования упаковочных материалов; ростом доли использования одноразовой продукции; изменением образа жизни и потребительских привычек населения (рис. 1)[2].



Рис. 1. Динамика образования твердых коммунальных отходов в Республике Беларусь

Несмотря на развитие системы повторного использования и переработки ТКО, захоронение отходов на полигонах остается основным способом их утилизации ($\approx 60\%$) в Республике Беларусь [3]. На полигонах отходы уплотняются и изолируются слоями грунта. Современные полигоны оборудуются системами отвода фильтрата и сбора биогаза, однако даже при наличии современных технологий нельзя полностью исключить возможность загрязнения окружающей среды.

Так, образованный на полигонах фильтрат, который содержит аммонийные соединения, нитраты, тяжелые металлы и органические вещества способен проникать в подземные и поверхностные воды, изменяя их химический состав. Это приводит к ухудшению качества воды, делает ее непригодной для питьевого водоснабжения и при попадании в поверхностные водные объекты вызывает эвтрофикацию. В результате чего происходит снижение содержания кислорода в воде, что становится причиной гибели многих водных организмов (табл. 1) [4].

Таблица 1

Загрязнение водных объектов рядом с полигонами твердых коммунальных отходов

Водоем/Скважина	Основные загрязнители	Концентрация (мг/л)	ПДК (мг/л)	Превышение, раз ПДК
Река Березина	аммонийный азот, фенолы	1,5-2,0	1,0	1,5-2,0
Скважины Минской области	нитраты	60,0	45,0	1,3
Озеро в Гомельской области	фенолы, соли аммония	0,12	0,05	2,5

Загрязнение атмосферного воздуха обусловлено выделением газов при разложении органической части отходов. Основными компонентами являются метан, углекислый газ и аммиак. Кроме этого при сжигании отходов образуются токсичные вещества, включая диоксины, фураны и мелкодисперсные частицы, которые обладают канцерогенными свойствами и оказывают негативное воздействие на здоровье человека (табл. 2).

Таблица 2

Загрязнение атмосферного воздуха продуктами разложения (выбросами) твердых коммунальных отходов

Компонент ТКО	Продукты разложения/выбросы	Влияние на атмосферу
Органические отходы	CH ₄ , CO ₂ , NH ₃ , ЛОС	Парниковый эффект, смог
Пластик и резина	Диоксины, фураны, PM _{2.5}	Токсическое загрязнение, канцерогенный эффект
Металлы	Оксиды металлов	Токсичность, образование аэрозолей
Бумага и текстиль	ЛОС, CO ₂ , CH ₄	Смог, парниковый эффект

Загрязнение почвы происходит в процессе разложения отходов, где образуются органические кислоты, которые изменяют кислотно-щелочной баланс почвы, ухудшают ее структуру и снижают плодородие. Концентрация токсинов на полигонах и старых свалках значительно превышает допустимые уровни, что ведет к деградации земель и накоплению токсических элементов в растениях и животных, что в перспективе отражается на здоровье населения (табл. 3).

Таблица 3

Загрязнение почвы продуктами разложения твердых коммунальных отходов

Регион	Тип свалки	Основные загрязнители	Превышение, раз ПДК
Гомельская область	Старые сельские свалки	Pb, Cd, Hg	2-4
Могилевская область	Незаконные свалки	Фенолы, соли аммония	4-5

Воздействие ТКО на здоровье населения является важной социальной проблемой. Так загрязнение воздуха приводит к развитию заболеваний дыхательной системы, включая хронические бронхиты, астму и аллергические реакции (рис. 2).

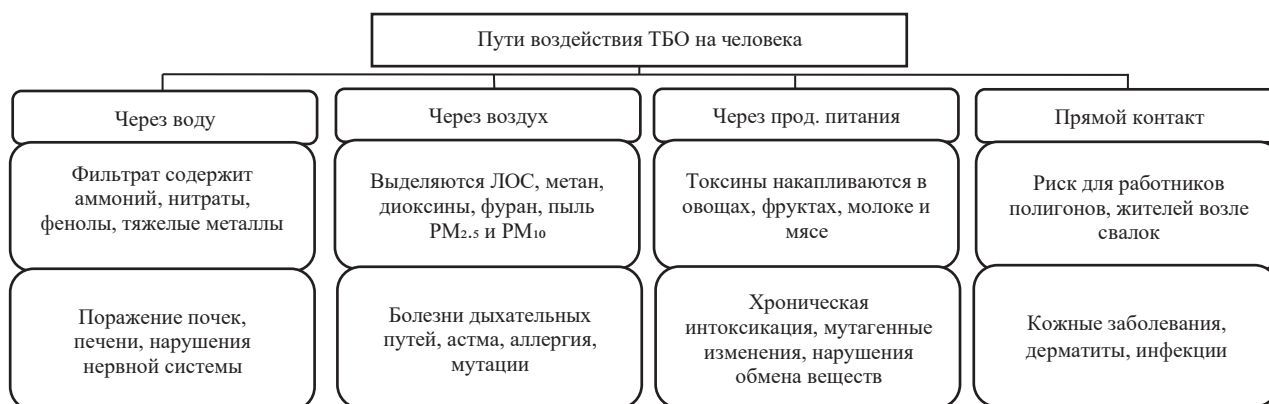


Рис. 2. Воздействие ТКО на здоровье населения

Загрязнение воды вызывает заболевания желудочно-кишечного тракта и инфекционные болезни. Тяжелые металлы и токсичные органические соединения способны накапливаться в организме человека, вызывая хронические интоксикации, нарушения работы внутренних

органов и онкологические заболевания. Наиболее уязвимыми являются дети, пожилые люди и население, проживающее вблизи полигонов и свалок.

Таким образом, твердые коммунальные отходы выступают фактором комплексного негативного воздействия на окружающую среду и состояние здоровья населения, затрагивая все уровни организации экосистем. Эффективное решение данной проблемы предполагает переход к системному управлению, где особое внимание следует уделить поэтапному переходу к модели циркулярной экономики. В современных условиях это требует экономического стимулирования предприятий, внедряющих безотходные технологии и использующих вторичное сырье в производстве, а также развитие промышленного симбиоза, при котором отходы одной отрасли становятся ресурсом для другой.

Библиографические ссылки

1. О Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 18 авг. 2017 г. № 567 // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21700567>. (дата обращения: 01.02.2026).

2. Образование отходов // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-1-obrazovanie-othodov/>. (дата обращения: 05.02.2026).

3. Информация об объемах образования, использования и захоронения твердых коммунальных отходов за 2024 год // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/2025/doc/ТКО.docx>. – (дата обращения: 10.02.2026).

4. Радиационно-экологический мониторинг // Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь. URL: <https://rad.org.by/monitoring/>. (дата обращения: 15.02.2026).

СТОЧНЫЕ ВОДЫ МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е. А. Улащик¹⁾, Д. В. Ходикова¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, ulasikekaterina@gmail.com, hodikovadasa25@gmail.com

Объектом исследования работы является анализ проблемы образования и очистки сточных вод на предприятиях молочной промышленности Республики Беларусь. Подробно рассмотрена структура водопотребления, по результатам которой установлено, что основная доля потребляемой предприятием воды (40-73 %) используется для санитарной обработки технологического оборудования. Образованные сточные воды отличаются высокими значениями БПК – до 2400 мг/л, и ХПК – до 3000 мг/л, также содержат в своем составе значительное количество белковых веществ, углеводы и жиры. По результатам работы предложены рекомендации по снижению объемов образования сточных вод и оптимизации процессов мойки и санитарной обработки оборудования.

Ключевые слова: молочная промышленность; рациональное водопользование; сточные воды; органические загрязнения; водоотведение; очистка сточных вод; флотация.

WASTEWATER FROM THE DAIRY INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Е. А. Ulashchyk¹⁾, D. V. Khodikova¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, ulasikekaterina@gmail.com, hodikovadasa25@gmail.com

The objective of this study is to analyze the generation and treatment of wastewater at dairy enterprises in the Republic of Belarus. A detailed analysis of water consumption patterns revealed that the majority of water consumed by dairy enterprises (40–73 %) is used for sanitizing process equipment. The resulting wastewater has high biochemical oxygen demand (BOD) values of up to 2400 mg/L and chemical oxygen demand (COD) values of up to 3000 mg/L, and also contains significant amounts of proteins, carbohydrates, and fats. Based on the study's findings, recommendations are proposed for reducing wastewater generation and optimizing equipment cleaning and sanitization processes.

Keywords: dairy industry; water efficiency; wastewater; organic pollutants; water disposal; wastewater treatment; flotation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-172-175>

Производство молочной продукции является одной из ключевых отраслей агропромышленного комплекса Республики Беларусь, вносящей значительный вклад в продовольственную безопасность и экономику государства. Такие известные бренды, как «Беллакт», «Савушкин продукт», «Бабушкина крынка» и другие, обеспечивают качественной продукцией не только внутренний рынок, но и формируют значимую долю экспортных поставок. Молокоперерабатывающие предприятия производят огромный ассортимент продукции, в том числе доля цельномолочной продукции составляет 78 %, масла сливочного – 5 %, творога и творожных изделий – 5 %, сыров – 9 % и сгущенных сливок – 3 % [1].

Интенсивное развитие производства молочной продукции неизбежно сопряжено с увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду. Характерным, для таких предприятий, является негативное воздействие образующихся сточных вод, которые подразделяются на два

вида: загрязненные и незагрязненные. Загрязненные сточные воды образуются при мойке оборудования, технологических трубопроводов, автомобильных цистерн, фляг, стеклотары и т. д. По объему образования сточных вод производство предприятий молочной промышленности можно разделить на три функциональные зоны (табл. 1):

Таблица 1

Структура водоотведения по функциональным зонам

Функциональная зона, вклад в объем образования сточных вод %	Статьи расхода воды	Источники образования сточных вод
1-ая зона Система водоснабжения, включая водоподготовку 23%	Дезинфекция, промывка скважины и водоводов первого подъема, мойка, чистка, дезинфекция и промывка резервуаров чистой воды	Сброс дезинфицирующих растворов, промывных вод при мойке, чистке, дезинфекции скважин, водоводов, резервуара чистой воды
2-ая зона Основное производство 70%	Наружная и внутренняя мойка автомобильных молочных цистерн, прямоточное охлаждение оборудования и т. Д.	Мойка автомобильных молочных цистерн, при охлаждении оборудования по прямоточной системе и т. Д.
3-я зона Вспомогательное производство 7%	Восполнение потерь конденсата пара; продувка котлов; подпитка тепловой сети	Продувочные воды, промывка фильтров водоподготовки котельной

При среднем удельном расходе воды 5 м³ на тонну молока, в сутки образуется 4803 м³ сточных вод. Основной объем водопотребления (40-73 %) приходится на санитарную обработку оборудования, что является ключевым направлением для внедрения ресурсосберегающих технологий, таких как автоматизированные безразборные мойки (СIP-мойки) с циркуляцией моющих средств (табл. 2) [2]:

Таблица 2

Диапазоны водоотведения 2-ой функциональной зоны (основное производство)

№ п/п	Наименование статьи водоотведения	% от общего водоотведения (диапазон)
1	Обеспечение технологических параметров оборудования	0,5-9,1
2	Санитарная обработка оборудования	40-69
3	Внутренняя и наружная мойка автомолцистерн	0,3-13
4	Мойка производственных помещений	1,7-6,3
5	Система охлаждения (компрессорная, вакуум-выпарные установки)	0-14

Состав сточных вод зависит от характера использования воды. Качественный состав сточных вод характеризуется такими параметрами как: концентрация минеральных и органических веществ, температура, рН воды, бактериологические показатели, цветность и др., которые варьируются в зависимости от сезона, достигая максимальных показателей в летний период.

Основными загрязнителями являются органические вещества белкового и жирового происхождения. Высокие значения БПК (1200-2400 мг/л) указывают на способность стоков к быстрому загниванию и закисанию. Наступает сбраживание молочного сахара в молочную кислоту, что приводит к осаждению казеина и других протеиновых веществ. Загнивание осажденных веществ сопровождается выделением очень неприятного запаха.

Величина рН сточных вод в значительной степени определяется технологией производства, ассортиментом выпускаемой продукции. Для производств, не связанных с процессами молочнокислого брожения (молочно-консервные и маслодельные заводы), рН стока близок к нейтральному (6,8-7,4), до кислой (4,5) при сбросах сыворотки, что характерно для производства сыров, творога и казеина (табл. 3) [3; 4].

Таблица 3

Состав сточных вод предприятий молочной промышленности

Предприятия	Взвешанные вещества, мг/л	ХПК, мг/л	БПК, мг/л	Жиры, мг/л	Хлориды, мг/л	Азот общий, мг/л	Фосфор, мг/л	рН
Городской молочный завод	350 / 30	1400 / 120	1200 / 25	До 100	150	60 / 20	8	4,9-8,5 / 6,5-8,5
Сырдельный завод	600 / 30	3000 / 120	2400 / 25	До 100	260	90 / 20	16	4,5-7,0 / 6,5-8,5

Примечания. 1. В таблице после символа « / » приведены значения ПДК, мг/л веществ в стоках.
2. ПДК для БПК приведен за 5 суток.

Самыми опасными для водоемов являются сточные воды, сбрасываемые при производстве казеина, твердых сыров и творога, так как технология их производства связана с образованием побочного продукта – молочной сыворотки, составляющей 80-90 % от объема перерабатываемого молока (табл. 4) [5]. Она содержит около 50 % питательных веществ исходного сырья (лактозу, белки, минералы) и при попадании в канализацию резко повышает органическую нагрузку на очистные сооружения [3; 4].

Таблица 4

Примерный состав сыворотки, получаемой при производстве сыра и казеина

Ингредиент	Подсырная сыворотка (сладкая), %	Казеиновая сыворотка (кислая), %
Сухие вещества	6	6,4
Вода	94	93,6
Чистый белок	0,6	0,6
Небелковые азотные соединения	0,2	0,2
Лактоза	4,5	4,6
Кальций	0,035	0,12
Натрий	0,045	0,05
Калий	0,14	0,16

Для очистки стоков молочной промышленности могут применяться механические, физико-химические и биологические методы. Наиболее перспективным направлением является использование флотации. Так на очистных сооружениях с использованием флокуляции и барботажной флотации возможно переработать до 100 т/сутки сточных вод и до 150 т/сутки сыворотки. Усовершенствованная комбинированная флотационная камера двухкамерного типа, сочетающая струйную и напорную флотацию, позволит исключить стадию флокуляции и повысить степень очистки стоков [4; 6].

Таким образом, исследование структуры водоотведения выявило, что основная доля потребляемой воды (40-73 %) расходуется на санитарную обработку технологического оборудования, которая после использования переходит в категорию сточных вод. Существенный

потенциал для снижения водопотребления и водоотведения заключается во внедрении принципов «чистого производства», таких как:

- 1) оптимизация процессов мойки (CIP-мойки) с рециркуляцией моющих растворов;
- 2) внедрение систем оборотного и повторного использования воды, что позволяет вернуть в производственный цикл до 40 % водных ресурсов;
- 3) отдельный сбор и утилизация ценных концентрированных потоков, таких как сыворотка, сброс которой в канализацию недопустим.

Для эффективной очистки уже образовавшихся стоков наиболее рациональным является применение комбинированных методов, включающих механическую (решетки, песколовки, флотация), физико-химическую (коагуляция, флокуляция) и биологическую (анаэробно-аэробная очистка) стадии. Реализация предложенных рекомендаций позволит не только снизить экологическую нагрузку на водные объекты, но и повысить экономическую эффективность предприятий за счет экономии водных ресурсов и возврата ценных компонентов в производственный цикл, что соответствует принципам устойчивого развития.

Библиографические ссылки

1. *Захарко П. Н., Дубенок С. А.* Устойчивое водопользование на основе регулирования водопотребления, водоотведения, качества сточных вод на предприятиях по производству молочных продуктов : Журнал Белорусского государственного университета. Экология, 2022. № 2. С. 88–101.
2. Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности. Минск : Институт мясо-молочной промышленности, 2007. С. 57.
3. *Кравцов А. М., Шахрай Д. С.* Использование процесса флотации при очистке стоков молочного производства. Минск : Репозиторий БГАТУ, 2014. С. 57–58.
4. *Шифрин С. М., Иванов Г. В., Мишуков Б. Г.* Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. С. 272.
5. Переработка сыворотки // Справочник по молочному производству Tetra Pak. URL: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki>. (дата обращения: 01.02.2026).
6. *Яромский, В. Н.* Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности. Брест : Академия, 2004. С. 71.

ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Е. А. Улащик¹⁾, В. В. Шеколян¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, ulasikekaterina@gmail.com, shekolyan.valeria@gmail.com

Актуальность проблемы микропластикового загрязнения обусловлена глобальным распространением синтетических полимерных материалов и их устойчивым накоплением в окружающей среде. Микропластик, представляющий собой частицы размером менее 5 мм, образуется в результате деградации крупных пластиковых изделий и целенаправленного производства микроскопических пластиковых компонентов. Его повсеместное присутствие в водных экосистемах, почвах, атмосфере и пищевых цепях создает серьезные вызовы для экологической безопасности и здоровья человека.

Ключевые слова: микропластик; первичный микропластик; вторичный микропластик; загрязнение окружающей среды; здоровье человека.

THE PROBLEM OF MICROPLASTICS FORMATION AND WAYS TO SOLVE IT

E. A. Ulashchyk¹⁾, V. V. Shekolian¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, ulasikekaterina@gmail.com, shekolyan.valeria@gmail.com

The urgency of microplastic pollution stems from the global spread of synthetic polymer materials and their steady accumulation in the environment. Microplastics—particles less than 5 mm in size—are formed either from the degradation of larger plastic products (secondary microplastics) or through the intentional production of microscopic plastic components (primary microplastics). Their ubiquitous presence in aquatic ecosystems, soils, the atmosphere, and food webs poses serious challenges to environmental safety and human health.

Keywords: microplastics; primary microplastics; secondary microplastics; environmental pollution; human health.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-176-179>

Микропластик представляет собой мелкие частицы размером менее 5 мм и образуется в результате механического износа пластиковых изделий при их использовании, а также может производиться изначально в виде микрогранул. Ежегодно в мире образуется около 430 млн. тонн пластиковых отходов, из них около трети попадает в окружающую среду, включая почву и пресные воды, где под воздействием природных факторов крупные пластиковые изделия распадаются на микрочастицы. В результате в мировой океан ежегодно попадает от 8 до 13 млн. тонн пластиковых отходов.

В Республике Беларусь наблюдается тенденция к росту образования пластиковых отходов, так по состоянию на 2024 г., по статистическим данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, в стране было образовано около 450 тыс. тонн пластиковых отходов, из которых 200 тыс. тонн в составе промышленных отходов. В среднем каждый белорус производит около 28 кг пластиковых отходов в год и выбрасывает их в составе твердых

коммунальных отходов (ТКО), где они составляют $\approx 8\%$. В среднем, объем повторного использования отходов пластика от общего объема образования достигают 92-96 % для отходов производства и 34 % для ТКО (рис. 1) [1; 2].



Рис. 1. Динамика образования и использования отходов пластика в составе ТКО, тыс. тонн

Одной из ведущих проблем в изучении микропластика является отсутствие единой классификации. В научной литературе частицы принято классифицировать по размеру, происхождению, форме и химическому составу. Чаще всего микропластик определяется по размеру, хотя верхняя и нижняя границы четко не установлены (рис. 2). Некоторые авторы трактуют этот термин широко, включая частицы диаметром менее 5 мм, тогда как другие предлагают более узкие критерии – менее 2 мм, 1 мм или даже 500 мкм [3].

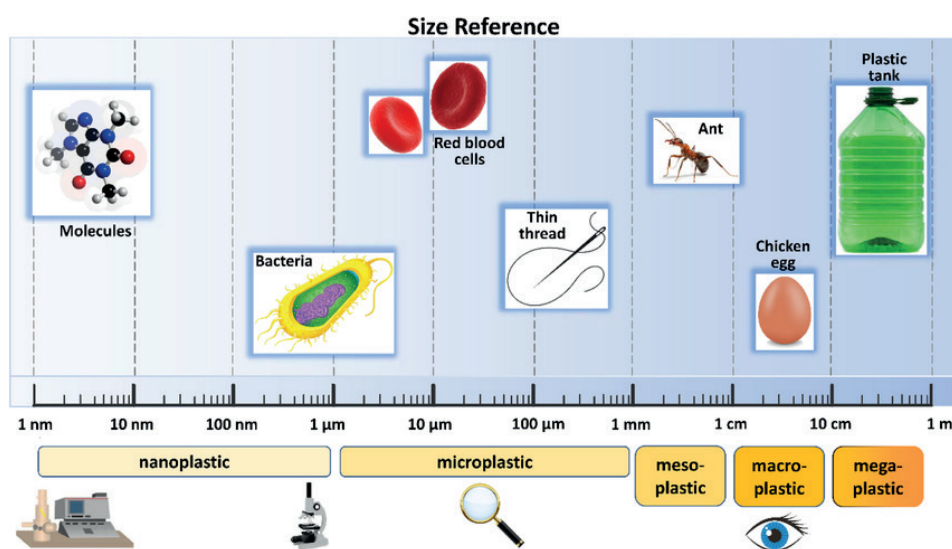


Рис. 2. Виды пластика в зависимости от его размерных параметров

По происхождению микропластик классифицируют на первичный и вторичный [4]. В большинстве случаев достоверно определить происхождение конкретных частиц затруднительно, поэтому такая классификация применяется лишь тогда, когда источник микропластика можно установить с высокой степенью уверенности. Тем не менее, разграничение по происхождению имеет практическое значение для разработки мер по снижению загрязнения – например, запрета на использование микрогранул в косметике или предотвращения фрагментации пластиковых изделий за счёт сокращения объёмов пластиковых отходов в окружающей среде (табл. 1).

Классификация микропластика по происхождению

Первичный микропластик			Вторичный микропластик		
полимерные пеллеты	микрошарики для косметики и товаров для ухода	полимерный абразив для пескоструйных работ	продукты фотодегradации микропластика	продукты биоразложения	продукты механического дробления макропластика
изначально производится в виде микрочастиц – микросферы в косметике, промышленные гранулы			возникает при разрушении крупных пластиковых предметов под действием солнца, воды и механических факторов		
					

Микропластик содержится во многих предметах быта: при разложении фильтры сигарет из ацетата целлюлозы распадаются на микропластиковые частицы; при стирке синтетических тканей в воду попадают микроволокна пластика; одноразовые бумажные стаканчики для напитков, покрытые изнутри тонкой пластиковой плёнкой, при контакте с горячей водой способны выделять огромное количество микропластика и т.д.

Частицы микропластика способны проникать в ткани организма, вызывать воспалительные процессы, нарушать работу внутренних органов и оказывать опосредованное влияние через перенос токсичных веществ и патогенных микроорганизмов (табл. 2).

Влияние микропластика на здоровье человека

Оказываемое опасное свойство	Механизм воздействия	Последствия для здоровья
Токсичность	Накопление частиц в тканях (лёгкие, печень, почки), вызывающее механические повреждения, воспаление и окислительный стресс. Выделение токсичных добавок из состава самого пластика.	Воспалительные процессы, повреждение тканей, нарушения метаболизма, нейротоксичность, эндокринные нарушения, повышенный риск сердечно-сосудистых.
Экотоксичность	Микропластик накапливается в пищевых цепях (рыба, морепродукты и т.д.) и концентрирует на своей поверхности стойкие органические загрязнители и тяжелые металлы из окружающей среды.	Поступление в организм человека повышенных доз опасных веществ при употреблении загрязненных продуктов питания, что усиливает общую токсическую нагрузку.
Инфекционность	Частицы микропластика действуют как переносчики патогенных микроорганизмов. На их поверхности формируются бактериальные биопленки, а также адсорбируются вирусы.	Повышение риска инфекционных заболеваний, нарушение микробиома кишечника и других органов, потенциально ослабление иммунитета.

Оценки показывают, что ежегодно человек потребляет значительное количество микропластика с пищей и водой (не менее 50 тыс. частиц). Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения, влияние микропластика на здоровье человека остаётся недостаточно изученным, а выводы о возможных эффектах носят предположительный характер [5]. Микропластик также накапливается в организмах животных, изменяет структуру пищевых цепей и снижает плодородие почв [6].

Для эффективного сокращения объемов образования микропластика необходимо создание комплексной системы, поддерживающей переход на многоразовые аналоги. Важным направлением является развитие системы многоразовой тары для продуктов питания, включая внедрение стандартизированных контейнеров для покупки товаров на развес и создание сети пунктов приема и санитарной обработки такой тары. Параллельно необходимо стимулировать производителей к использованию бумажных и других биоразлагаемых материалов вместо пластиковой упаковки, устанавливая налоговые льготы для предприятий, полностью перешедших на экологичную упаковку. Реализация этих мер должна сопровождаться образовательными программами, разъясняющими прямую связь между использованием многоразовых альтернатив и сокращением микропластикового загрязнения, а также созданием удобной городской инфраструктуры, поддерживающей культуру многоразового использования.

Реализация этих рекомендаций на бытовом уровне, в сочетании с промышленными и законодательными инициативами, позволит существенно снизить объемы образования отходов микропластика и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

Библиографические ссылки

1. Отчеты операторы // Государственное учреждение «Оператор вторичных материальных ресурсов. URL: https://vtoroperator.by/about_us/operator-reports/. (дата обращения: 02.02.2026).

2. Изучение морфологического состава коммунальных отходов на 20 тестовых площадках Беларуси в летний сезон // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. URL: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/news-ru/view/izuchenie-morfologicheskogo-sostava-kommunalnykh-otkhodov-na-20-testovykh-ploschadkakh-belarusi-v-letnij-sezon-3498/>. – (дата обращения: 01.02.2026).

3. Microplastics in aquatic systems, a comprehensive review: origination, accumulation, impact, and removal technologies / A. Tursi [et al.] // RSC Adv. 2022. Vol. 12 (44). P. 28318–28340. <https://doi.org/10.1039/d2ra04713f>.

4. Давыдова Ю. Что такое микропластик // Земля касается каждого. URL: <https://earthtouches.me/articles/2023/11/21/chto-takoe-mikroplastik> (дата обращения: 15.02.2026)

5. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health // World Health Organization. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608>. (дата обращения: 10.02.2026).

6. Гернер Д. Тихий убийца: как микропластик вызывает болезни и останавливает репродукцию живых организмов // Хайтек. URL: <https://hightech.fm/2018/09/24/microplastic>. (дата обращения: 11.02.2026).

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ АНАТОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *TILIA CORDATA* MILL. В УСЛОВИЯХ УРБОСИСТЕМ МИНСКА

А. Н. Хох¹⁾

¹⁾ Государственное учреждение «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь», ул. Филимонова 25,
220114, г. Минск, Беларусь, 1ann1hoh@gmail.com

Представлены результаты комплексной оценки анатомических параметров листовой пластинки *Tilia cordata* Mill., произрастающей в районах г. Минск с разной степенью антропогенной нагрузки. Проведен анализ толщины столчатого и губчатого мезофилла, эпидермальных слоев и показателей устьичного аппарата в группах с различным уровнем коэффициента флуктуирующей асимметрии (КФА). Установлены статистически значимые различия между группами по большинству исследованных параметров ($p < 0,001$). Выявлены сильные корреляционные связи между баллом КФА и толщиной столчатого мезофилла, а также количеством открытых устьиц. Показано, что при увеличении антропогенной нагрузки происходит структурная перестройка мезофилла и снижение устьичной активности, что отражает адаптационно-стрессовые реакции растений. Полученные данные подтверждают возможность использования анатомических показателей листа в качестве чувствительных маркеров экологического состояния городской среды.

Ключевые слова: липа мелколистная; листовая пластинка; флуктуирующая асимметрия; анатомические параметры; антропогенная нагрузка.

ASSESSMENT OF SELECTED ANATOMICAL PARAMETERS OF THE *TILIA CORDATA* MILL. LEAF BLADE IN THE CONDITIONS OF MINSK URBAN SYSTEMS

A. N. Khokh¹⁾

¹⁾ Scientific and Practical Centre of The State Forensic Examination Committee of The Republic of Belarus,
Philimonova str., 25, 220114, Minsk, Belarus, 1ann1hoh@gmail.com

The results of a complex assessment of anatomical parameters of the leaf blade of *Tilia cordata* growing in areas of Minsk with varying degrees of anthropogenic load are presented. An analysis of the thickness of the palisade and spongy mesophyll, epidermal layers, and stomatal apparatus parameters was carried out in groups with different levels of the fluctuating asymmetry index (FAI). Statistically significant differences between the groups were established for the majority of the studied parameters ($p < 0.001$). Strong correlations were revealed between the FAI score and the thickness of the palisade mesophyll, as well as the number of open stomata. It was shown that with an increase in anthropogenic load, a structural rearrangement of the mesophyll and a decrease in stomatal activity occur, reflecting the adaptive-stress responses of plants. The obtained data confirm the possibility of using leaf anatomical indicators as sensitive markers of the ecological state of the urban environment.

Keywords: small-leaved linden; leaf blade; fluctuating asymmetry; anatomical parameters; anthropogenic load.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-180-183>

Интенсивная урбанизация сопровождается комплексным воздействием неблагоприятных факторов на древесные растения: загрязнением атмосферного воздуха, изменением гидротермического режима, уплотнением почв и повышенной температурной нагрузкой [1–3]. Эти воз-

действия приводят к формированию стрессовых состояний, отражающихся в том числе и на морфогенезе и анатомической структуре листа.

Одним из интегральных показателей стабильности развития растений является коэффициент флуктуирующей асимметрии (КФА), отражающий уровень морфогенетического стресса [4]. Изменения анатомических параметров листовой пластинки могут служить чувствительным индикатором экологического неблагополучия урбосистем [5].

Цель работы – оценить особенности варьирования анатомических параметров листовой пластинки липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) как надежного биоиндикатора для оценки загрязнения окружающей среды в зависимости от балла КФА и определить их диагностическую значимость в условиях городской среды.

Объект исследования – листовые пластинки, отобранные с 34-х пунктов отбора в конце июня-начале июля 2025 года на территории г. Минска с побегов по всему диаметру кроны.

На каждом пункте отбора с 7-10 деревьев отобрано по 15 листовых пластинок.

Для анализа анатомической структуры в средней зоне листовой пластинки, по обе стороны от центральной жилки, изготавливались поперечные срезы, а также парадермальные срезы нижнего эпидермиса. Срезы выполнялись вручную с использованием лезвия безопасной бритвы. На поперечных срезах определяли толщину верхнего и нижнего эпидермиса, а также столбчатого и губчатого мезофилла. Парадермальные срезы использовались для подсчета количества открытых и закрытых устьиц в поле зрения микроскопа.

Проверка нормальности распределения выполнялась с помощью критерия Шапиро–Уилка. Поскольку часть выборок не соответствовала нормальному распределению, для сравнения групп применяли Н-критерий Краскела-Уоллиса. Апостериорные сравнения (post-hoc) проводили с помощью теста Данна с поправкой Бонферрони. Для оценки силы взаимосвязи между КФА и анатомическими параметрами использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (далее – r_s). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Анализ данных выявил направленные изменения большинства анатомических показателей по мере увеличения балла КФА.

Полученные по толщине тканей результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Толщина тканей (мкм)

Балл КФА	Столбчатый мезофилл	Губчатый мезофилл	Верхний эпидермис	Нижний эпидермис
1	35,2 ± 1,4 ^a	39,7 ± 2,3 ^a	9,9 ± 1,7 ^a	8,1 ± 0,4 ^a
2	35,1 ± 1,7 ^a	40,2 ± 2,6 ^a	10,0 ± 0,3 ^a	8,0 ± 0,3 ^a
3	30,2 ± 1,2 ^b	47,2 ± 3,4 ^b	8,4 ± 0,3 ^b	8,1 ± 0,2 ^a
4	25,5 ± 2,5 ^c	49,2 ± 2,3 ^b	8,2 ± 0,3 ^b	7,6 ± 0,2 ^a

Примечание. ^{a, b, c} – надстрочные буквы обозначают статистически значимые различия между группами при $p < 0,05$ (post hoc тест Данна с поправкой Бонферрони).

Толщина столбчатого мезофилла демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению при переходе от 1 к 4 баллу КФА. Уменьшение данного показателя отражает угнетение ассимиляционного аппарата и снижение фотосинтетической активности.

В противоположность этому, толщина губчатого мезофилла увеличивается с ростом КФА. Увеличение объема губчатой ткани, вероятно, связано с расширением межклеточного пространства и носит компенсаторный характер, обеспечивая адаптацию к ухудшению газообмена в условиях загрязненной атмосферы.

Таким образом, перестройка мезофилла проявляется в перераспределении объема ассимиляционной и аэренхимной тканей.

Толщина верхнего эпидермиса достоверно уменьшается при увеличении балла КФА ($p < 0,001$), что может свидетельствовать о снижении защитных свойств покровной ткани.

В то же время толщина нижнего эпидермиса не демонстрирует статистически значимых различий между группами ($p > 0,05$), что указывает на относительную морфологическую стабильность данной структуры и ее меньшую чувствительность к стрессовым факторам.

Полученные по устьичному аппарату результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Устьичный аппарат

Балл КФА	Открытые устьица	Закрытые устьица
1	20,1 ± 1,0 ^a	10,2 ± 1,0 ^a
2	12,9 ± 2,1 ^b	12,8 ± 2,0 ^b
3	3,3 ± 0,5 ^c	4,0 ± 0,3 ^c
4	3,3 ± 0,3 ^c	3,8 ± 0,2 ^c

Примечание. ^{a, b, c} – надстрочные буквы обозначают статистически значимые различия между группами при $p < 0,05$ (post hoc тест Данна с поправкой Бонферрони).

Наиболее выраженные изменения выявлены в функционировании устьичного аппарата. Количество открытых устьиц резко снижается при переходе от 1 к 3–4 баллам КФА.

Снижение числа функционирующих устьиц свидетельствует об ограничении транспирации и фотосинтеза, что рассматривается как типичная стрессовая реакция растений на неблагоприятные условия городской среды.

Выявлены статистически значимые корреляционные связи между баллом КФА и большинством анатомических параметров листа.

Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между баллом КФА и анатомическими показателями

Показатель	rs	p
Толщина столчатого мезофилла	-0,76	<0,001
Толщина губчатого мезофилла	0,75	<0,001
Толщина верхнего эпидермиса	-0,75	<0,001
Толщина нижнего эпидермиса	-0,08	0,18
Количество открытых устьиц	-0,90	<0,001
Количество закрытых устьиц	-0,63	<0,001

Обнаружена сильная отрицательная корреляция между баллом КФА и толщиной столчатого мезофилла ($r = -0,76$; $p < 0,001$), а также толщиной верхнего эпидермиса ($r = -0,75$; $p < 0,001$). Это свидетельствует о снижении данных параметров при увеличении балла КФА.

В то же время установлена сильная положительная корреляционная связь между баллом КФА и толщиной губчатого мезофилла ($r = 0,75$; $p < 0,001$), что указывает на увеличение данного показателя при возрастании степени КФА.

Наиболее выраженная связь выявлена между баллом КФА и количеством открытых устьиц ($r = -0,90$; $p < 0,001$), что свидетельствует о резком уменьшении числа открытых устьиц при повышении балла КФА. Также обнаружена умеренно сильная отрицательная корреляция с количеством закрытых устьиц ($r = -0,63$; $p < 0,001$).

Статистически значимая связь между баллом КФА и толщиной нижнего эпидермиса не выявлена ($p > 0,05$).

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) установлены статистически значимые различия анатомических параметров листовой пластинки в зависимости от балла КФА;
- 2) наиболее чувствительными к увеличению антропогенной нагрузки являются толщина столбчатого мезофилла и количество открытых устьиц;
- 3) увеличение толщины губчатого мезофилла носит компенсаторный характер и отражает адаптационные процессы;
- 4) устьичный аппарат демонстрирует наиболее выраженную стрессовую реакцию, что подтверждается снижением индекса устьичной активности;
- 5) комплекс исследованных анатомических показателей может быть использован в качестве информативного морфологического маркера состояния урбосистем.

Библиографические ссылки

1. Эколого-гигиенические факторы риска мегаполисов / В. А. Микушина [и др.] // Перспективные научные исследования как двигатель современной науки. 2023. С. 22–25.
2. *Ткаченко Л. Я., Ивашкина И. В., Кочуров Б. И.* Экологизация территориального планирования урбанизированных регионов Европы: Лучшие зарубежные практики // Экология урбанизированных территорий. 2023. №. 4. С. 99–109.
3. Проблемы экологии и охраны окружающей среды и пути их решения / М. К. Азимова [и др.] // TADQIQOTLAR. 2025. Т. 76. №. 4. С. 149–152.
4. *Ракутько Е. Н., Ракутько С. А.* О возможности биоиндикации окружающей среды по флуктуирующей асимметрии оптической плотности листьев растений // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. №. 1 (69). С. 563–575.
5. Методы биоиндикационной оценки состояния агроэкосистем: аналитический обзор / Е. Н. Ракутько [и др.] // АгроЭкоИнженерия. 2022. №. 1 (110). С. 19–42.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА В ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЯХ

А. Н. Хох¹⁾

¹⁾ Государственное учреждение «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь», ул. Филимонова 25, 220114, г. Минск, Беларусь, 1ann1hoh@gmail.com

Проведено исследование климатической чувствительности гиперспектральных индексов поздней древесины сосны обыкновенной. В качестве климатических факторов использованы среднемесячные температуры и суммы осадков вегетационного периода текущего и предшествующего года. По результатам регуляризованной регрессии Elastic Net установлено, что ширина поздней древесины объясняется летними климатическими переменными на уровне $R^2=0,34$, тогда как гиперспектральные индексы характеризуются более высокой степенью детерминации ($R^2=0,48-0,56$). Наиболее значимые корреляционные связи выявлены с температурой июля–августа ($r=0,62-0,71$; $p<0,01$), для отдельных индексов отмечена отрицательная связь с избыточным увлажнением ($r=-0,40\dots-0,52$; $p<0,05$). Включение спектральных показателей в комбинированную модель повысило долю объясненной дисперсии до $R^2=0,61$, что на 20–25 % превышает значения, полученные при использовании только морфометрических параметров.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; поздняя древесина; древесно-кольцевые хронологии; климат; гиперспектральные индексы.

FEASIBILITY OF USING HYPERSPECTRAL INDICES FOR ASSESSING CLIMATIC RESPONSE IN TREE-RING CHRONOLOGIES

A. N. Khokh¹⁾

¹⁾ Scientific and Practical Centre of The State Forensic Examination Committee of The Republic of Belarus, Philimonova str., 25, 220114, Minsk, Belarus, 1ann1hoh@gmail.com

A study on the climate sensitivity of hyperspectral indices derived from the latewood of Scots Pine was conducted. Average monthly temperatures and total precipitation during the growing season of the current and previous year were used as climatic factors. Classification results using Elastic Net-regularized logistic regression showed that latewood width is explained by summer climatic variables at a level of $R^2=0,34$, whereas hyperspectral indices are characterized by a higher degree of determination ($R^2=0,48-0,56$). The most significant correlations were found with the July-August temperature ($r=0,62-0,71$; $p<0,01$), while some indices showed a negative correlation with excessive precipitation ($r=-0,40\dots-0,52$; $p<0,05$). Including spectral indicators in a combined model increased the explained variance to $R^2=0,61$, which is 20-25% higher than the values obtained using only morphometric parameters.

Keywords: Scots pine; latewood; tree-ring chronologies; climate; hyperspectral indices.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-184-187>

Дендрохронологические методы широко используются для выявления качественных и количественных показателей связей элементов климата с радиальным приростом дерева (сообщества деревьев); преимущественно они основаны на анализе ширины годичных колец и их плотности, однако указанные показатели не всегда позволяют в полной мере выявить сложный, многокомпонентный характер климатического отклика древесных экосистем [1; 2].

В последние годы для реконструкции климата за длительные промежутки времени, особенно в районах умеренного климата, где связь прироста деревьев с климатическими факторами менее выражена, начинают применять гиперспектральную диагностику (RGB, мульти- и гипеспектральные камеры), базирующуюся на нейросетевых технологиях, которые наряду с морфологическими, цветовыми и текстурными классификационными признаками включают оценку спектральной отражательной способности объектов и существенно расширяют возможности исследования анатомических, химических и физиологических характеристик древесины.

Гиперспектральные индексы, рассчитываемые на основе спектров отражения в широком диапазоне длин волн, способны регистрировать изменения, ассоциированные с водным стрессом, вариациями содержания лигнина, целлюлозы и пигментных соединений, а также с особенностями формирования клеточных структур. Это обуславливает их высокий потенциал для идентификации тонких климатических сигналов, которые не всегда детектируются в классических дендрохронологических параметрах [3].

Цель работы – изучить потенциал применения гиперспектральных индексов для оценки климатического отклика в древесно-кольцевых хронологиях, построенных по ширине поздней древесины.

Поздняя древесина, формирующаяся во второй половине вегетационного периода, характеризуется повышенной плотностью клеточных стенок и отражает физиологическую реакцию дерева на условия летне-осеннего сезона. В отличие от ранней древесины, развитие которой в значительной степени определяется предыдущим годом, формирование поздней древесины в большей мере контролируется текущими климатическими факторами – температурным режимом, режимом увлажнения и продолжительностью активного камбиального роста.

Образцы древесины (буровые керны) для данного исследования были отобраны на территории Бобруйского лесничества ГЛХУ «Бобруйский лесхоз» в чистом по составу сосняке мшистом. Средний возраст деревьев 75 ± 2 года.

Для проведения исследования были получены гиперспектральные изображения буровых кернов. Съемка осуществлялась с использованием гиперспектральной камеры MUSES9-HS (Spectricon, Греция), работающей в спектральном диапазоне от 400 до 1000 нм с регистрацией 127 спектральных каналов. Данный диапазон охватывает видимую и ближнюю инфракрасную области спектра, в которых различия в отражательной способности древесины наиболее выражены.

На основе полученных спектральных данных были рассчитаны пять гиперспектральных индексов, выделенным в пределах поздней древесины для каждого годичного кольца:

1) нормализованный индекс плотности поздней древесины (NLDI):

$$NLDI = \frac{R_{900} - R_{760}}{R_{900} + R_{760}},$$

2) нормализованный индекс плотности поздней древесины (VNWI),

$$LGI = \frac{R_{900} - R_{800}}{900 - 800},$$

3) индекс градиента поздней древесины (LGI),

$$VNWI = \frac{R_{850} - R_{550}}{R_{850} + R_{550}},$$

4) индекс усиления клеточной стенки (CWRI)

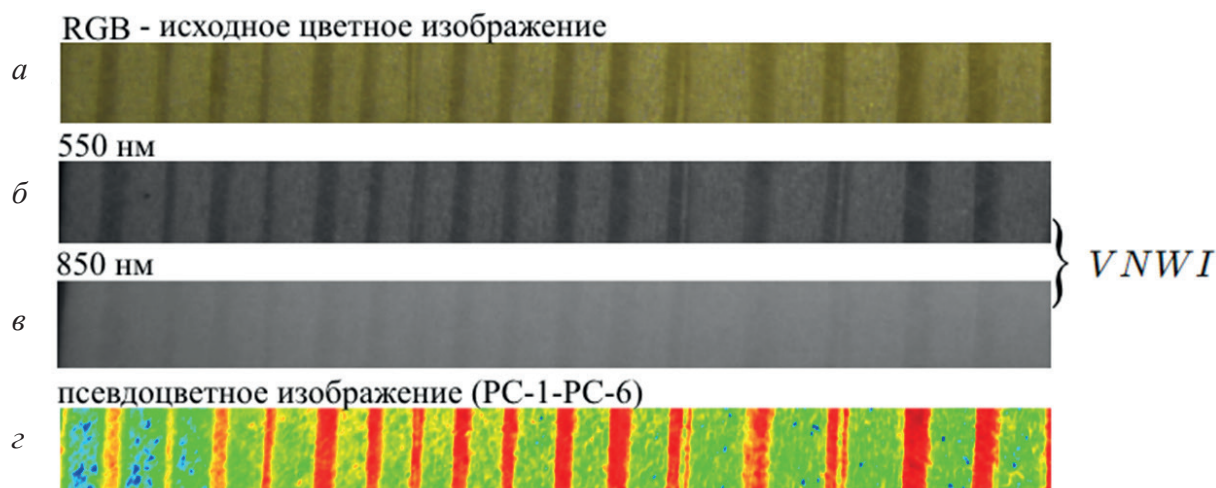
$$CWRI = \frac{R_{880} - R_{720}}{R_{880}},$$

5) модифицированный для поздней древесины индекс гетерогенности годовичных колец (TRHi-late).

$$TRHi\text{-late} = \frac{R_{840} - R_{770}}{R_{850} + 3R_{770} - 2R_{550} + 3R_{770}}$$

где R – коэффициент отражения на данной длине волны; 550, 720, 760, 770, 850, 880, 900 – длина волны в нм [3; 4].

На рисунке представлен пример гиперспектральных изображений годовичных колец.



Гиперспектральные изображения годовичных колец:

a – изображение в истинном цвете; *б-в* – примеры изображений в оттенках серого для длин волн 550 нм и 850 нм; *г* – псевдоцветное изображение, составленное из первых 6-и главных компонент

Параллельно с расчетом индексов была построена древесно-кольцевая хронология по ширине поздней древесины (*chr_late wood*) за период 1949–2024 гг. Минимальный прирост поздней древесины был отмечен в 1953, 1977 и особенно в 1993 гг., что указывает на экстремальные стрессовые условия ее формирования. Напротив, высокие значения прироста в 1998, 2000, 2008 и 2010 гг. свидетельствуют о благоприятном сочетании факторов роста в конце вегетационного периода.

Для оценки климатического отклика использованы данные среднемесячной температуры воздуха и сумм осадков за вегетационный период (май–сентябрь) текущего и предшествующего года.

Все полученные временные ряды были стандартизированы с помощью программы ARSTAN (версия 44h3) [5], проведена проверка автокорреляции и выполнена предварительная нормализация спектральных данных.

Статистический анализ включал три взаимодополняющих блока. Во-первых, применялась регуляризованная регрессия Elastic Net для оценки чувствительности *chr_late wood* и гиперспектральных индексов к температурным и гидротермическим факторам. Данный подход позволил учесть мультиколлинеарность климатических переменных и выделить наиболее значимые предикторы. Во-вторых, использовалась регрессия частичных наименьших квадратов (PLS) для анализа совокупного вклада спектральных индексов в объяснение вариаций летних

температур. В-третьих, проведен анализ скользящего временного окна (30 лет) с целью оценки стабильности коэффициентов климатической чувствительности во времени.

Полученные результаты (Elastic Net) показали, что ширина поздней древесины объясняется летними климатическими переменными на уровне $R^2 = 0,34$, в то время как для гиперспектральных индексов отмечена более высокая степень детерминации ($R^2 = 0,48 - 0,56$).

Гиперспектральные индексы демонстрируют устойчивую положительную связь с температурой июля–августа ($r = 0,62 - 0,71$; $p < 0,01$) и отрицательную связь с избыточным увлажнением в период формирования поздней древесины ($r = -0,40 \dots -0,52$; $p < 0,05$). Наибольшую температурную чувствительность проявили индексы, характеризующие состояние клеточных стенок (VNWI, CWRI), что может свидетельствовать о прямом влиянии термического режима на процессы лигнификации и уплотнения клеточных структур.

Анализ скользящего временного окна между chr_late wood и гиперспектральными индексами выявил выраженные изменения в доминирующих механизмах, определяющих прирост за последние семь десятилетий. Так, в 1950–1970 гг. преобладала сильная связь с структурными NIR-индексами (LSI, NLDI), отражающая влияние анатомической структуры вторичной стенки. В 1970–1990 гг. линейная структурная связь ослабела, а вклад интегральных индикаторов стресса (VNWI) усилился, что указывает на активизацию влияния климатических стрессорных факторов. В 1990–2020 гг. на первый план вышел индекс CWRI, что свидетельствует о формировании тонкой, но плотной поздней древесины под влиянием потепления и увеличения дефицита влаги. Такая динамика согласуется с современными концепциями физиологической адаптации древесины к климатическим изменениям [3].

Сравнение моделей показало, что включение гиперспектральных индексов в регрессионный анализ увеличивает долю объясненной дисперсии до $R^2 = 0,61$ по сравнению с использованием только ширины поздней древесины, что на 20–25 % превышает значения, полученные при использовании только морфометрических параметров. Кроме того, коэффициенты температурной чувствительности гиперспектральных индексов характеризуются большей стабильностью в последние десятилетия, что может отражать их повышенную способность фиксировать физиологические механизмы адаптации деревьев к современному потеплению.

Таким образом, результаты исследования подтверждают перспективность применения гиперспектральной диагностики в дендроклиматологии. Использование гиперспектральных индексов поздней древесины позволяет расширить традиционный инструментарий анализа древесно-кольцевых хронологий и выявлять дополнительные компоненты климатического сигнала, связанные с анатомическими и химическими особенностями древесины.

Библиографические ссылки

1. Associations between climate and earlywood and latewood width in boreal and Mediterranean Scots pine forests / Camarero J. J. [et al.]. *Trees*. 2021. Vol. 35. P. 155–169.
2. Хох А. Н., Звягинцев В. Б. Геоэкологические детерминанты прироста поздней древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Беларуси // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 6-2. С. 30–39.
3. Improving signal strength of tree rings for paleoclimate reconstruction by micro-hyperspectral imaging / Sun Y. [et al.] // *Geo-spatial Information Science*. 2024. Vol. 27. №. 5. P. 1657–1674.
4. Correlation between maximum latewood density of annual tree rings and NDVI based estimates of forest productivity // *International Journal of Remote Sensing* / R. D. D'Arrigo [et al.]. 2000. Vol. 21. №. 11. P. 2329–2336.
5. Holmes R. L. User's manual for program ARSTAN // *Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin*. 1986. P. 50–56.

АНАЛИЗ СРЕДНИХ И ХАРАКТЕРНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКИ ПРИПЯТЬ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

С. А. Цвикевич¹⁾, К. М. Мукина¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, mukina.klara@mail.ru

Цель работы – анализ средних и характерных гидрологических и гидрохимических показателей и антропогенной нагрузки в бассейне реки Припять за многолетний период.

В работе на основе данных за 1981-2024 гг. выявлены тенденции изменения стока и уровней воды. Проведена оценка динамики водопользования и загрязнения водных объектов за 2014-2024 гг. Определены основные источники антропогенной нагрузки, даны рекомендации по совершенствованию управления водными ресурсами.

Ключевые слова: река Припять; гидрологический режим; водопользование; загрязнение; экологическая безопасность.

ANALYSIS OF AVERAGE AND CHARACTERISTIC HYDROLOGICAL INDICATORS OF THE PRIPYAT RIVER OVER A LONG-TERM PERIOD

S. A. Tsvikevich¹⁾, K. M. Mukina¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, mukina.klara@mail.ru

The objective of this study is to analyze hydrological and hydrochemical parameters, as well as anthropogenic loads, in the Pripyat River basin over a long-term period. Using data from 1981 to 2024, this study identifies trends in runoff and water levels.

This study also assesses water use and pollution trends in water bodies for the period 2014 to 2024. The main sources of anthropogenic loads were identified, and recommendations for improving water resource management were provided.

Keywords: Pripyat River; hydrological regime; water use; pollution; environmental safety.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-188-192>

Бассейн реки Припять расположен в пределах Полесской низменности и характеризуется равнинным рельефом, умеренно-континентальным климатом. Важной особенностью является высокая заболоченность территории (более 30 %) и наличие разветвленной сети мелиоративных каналов общей протяженностью более 6 тыс. км [1].

Река Припять является крупнейшим по водности притоком Днепра. Её бассейн занимает около 25 % территории Беларуси (50,9 тыс. км²) и обеспечивает водными ресурсами более 1 млн человек. В условиях климатических изменений и интенсификации хозяйственной деятельности возрастает актуальность комплексной оценки состояния водных объектов для обеспечения экологической безопасности региона. Правовые основы рационального использования и охраны водных ресурсов регулируются Водным кодексом Республики Беларусь [2].

Численность населения в белорусской части бассейна составляет 1060,7 тыс. человек [1]. Структура водопользования по бассейну р. Припять принципиально не отличается от общей структуры водопользования в стране. Особенностью бассейна является поступление допол-

нительных объемов воды за счёт отвода воды из р. Припять на территории Украины в Днепро-Бугский канал по Белоозерской водопитающей системе для водообеспечения канала.

Согласно последним данным, средний объем забора воды на одного жителя в бассейне реки составляет около 150-170 литров в сутки. За период с 2014 по 2024 год наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению объема годового стока. Это особенно заметно при сравнении показателей объёма изъятия поверхностных вод бассейна реки Припять за 2014 и 2024 гг. Общее сокращение стока за 11 лет составило около 96548 млн м³, или примерно 33 % от объёма 2014 года.

Анализ многолетних данных по расходам воды на створах г. Припять – г. Мозырь и г. Припять – о.Черничи подтверждает тренд к снижению стока (табл. 1).

Таблица 1

Многолетние изменения расходов воды в створах наблюдений

Показатель	Створ г.Мозырь (1981-2024)	Створ г.Черничи (1981-2024)
Среднегодовой расход, м ³ /с	180,7-725	116-493
Количество лет ниже среднемноголетнего значения	22 из 44	20 из 39
Темп снижения (-)/увеличения (+) среднегодового стока, м ³ /с в год	-2,8	+1,7
Темп снижения максимальных расходов, м ³ /с в год	-17,0	-1,3

Анализ среднегодовых показателей расхода воды в бассейне Припяти за период с 1981 по 2024 гг. выявил существенную вариативность режима [3]. В створе у г. Мозырь амплитуда значений составила от минимальных 180,7 м³/с (зафиксированных в 1986 г.) до максимальных 725 м³/с (в 1998 г.). Столь высокие показатели, вероятно, детерминированы интенсификацией выпадения осадков либо трансформацией гидрологического фона. При этом прослеживается общий тренд к снижению водности.

Аналогичная картина наблюдается в створе у д. Черничи, где зафиксированы сопоставимые по времени пиковые значения. Минимум здесь пришелся на 2020 г. (116 м³/с), тогда как в конце 1990-х годов произошел резкий подъем: в 1998 г. – до 461 м³/с, а в 1999 г. – до 493 м³/с. После всплеска 2013 г. (417 м³/с) вновь наметился спад, достигший локального минимума в 2020 г. (116 м³/с). Данная тенденция может объясняться природными факторами, включая ослабление паводковой активности или изменение условий дренажа. Сравнивая створы, стоит отметить, что у Мозыря амплитуда колебаний выражена ярче (что коррелирует с режимом осадков), в то время как в районе Черничи сток отличается большей стабильностью, предположительно, благодаря устойчивым характеристикам водосбора.

Экстремальные значения были зафиксированы в 1999 г., когда катастрофическое половодье, вызванное рекордным снегозапасом, резким потеплением и экстенсивными осадками, привело к максимальным расходам: 3270 м³/с у Мозыря и 3130 м³/с у Черничи. Минимальная водность отмечена в засушливом 2015 г. (48 м³/с и 31,6 м³/с соответственно).

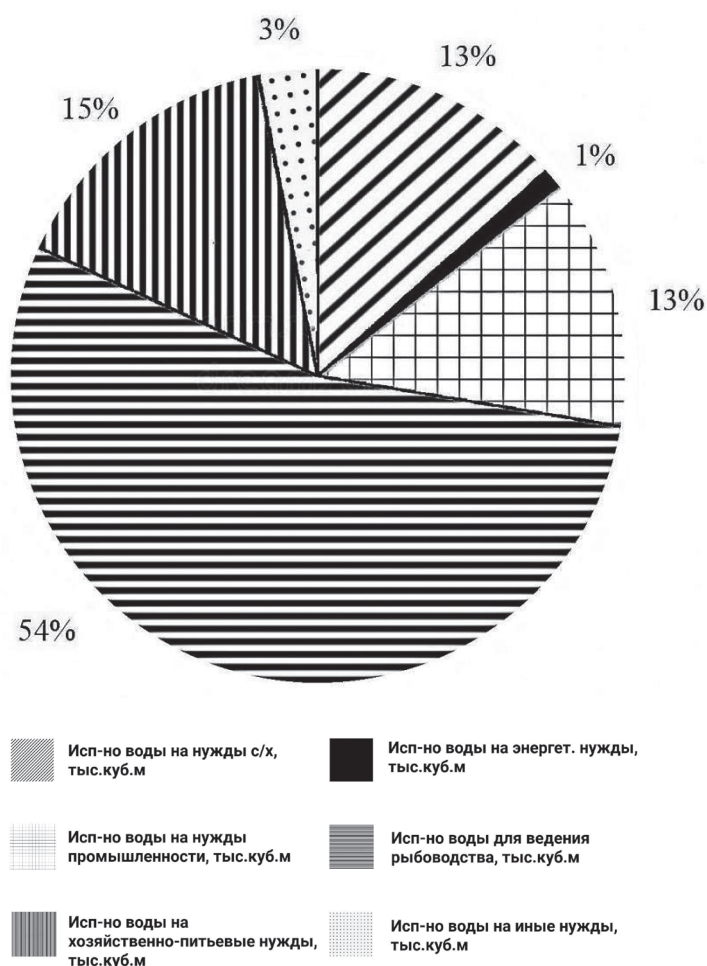
Уровневый режим также подтверждает гипотезу о снижении объема стока. Пик зафиксирован в Петрикове в 1999 г. (901 см), тогда как аномально низкие отметки (ниже нуля) наблюдались в Наровле в 1992 г. (-44 см).

Несмотря на естественные флуктуации, хозяйствующие субъекты белорусской части бассейна Припяти находятся в благоприятных условиях с точки зрения водообеспеченности, что стимулирует экономическое развитие. Водоснабжение предприятий базируется на сочетании

подземных горизонтов и поверхностных источников. Гидрологический режим региона осложняется трансграничным фактором: дополнительный объем поступает благодаря переброске стока из Припяти в Днепро-Бугский канал (через Белоозерскую систему) для поддержания судоходства на территории Украины.

Доминирующим типом природопользования в бассейне выступает сельское хозяйство. Существенную роль играет и промышленный комплекс, представленный добывающим и обрабатывающим секторами, предприятия которых сконцентрированы преимущественно в городской черте.

На момент 2024 года ведущим потребителем в направлении использования вод бассейна р. Припять является рыболовство – 169,2 млн м³ (54 %) [4]. На хозяйственно-питьевые нужды используется 46,7 млн м³ (15 %), промышленность и сельское хозяйство потребляют по 41,6 млн м³ (13%), энергетика – 3,1 млн м³ (1 %). Позитивной тенденцией выступает рост использования оборотного водоснабжения, превысивший в 2023 году 1 млрд м³ (рисунок).



Структура использования водных ресурсов бассейна р. Припять в 2024 г., %

Для выявления многолетних тенденций изменения качества воды в бассейне реки Припять проанализирована динамика основных гидрохимических показателей за период 2014-2024 гг. [5]. Стабильное или улучшающееся состояние наблюдалось в период 2014-2019 гг. : класс качества реки Припять на большей части ее течения характеризовался как «отличный» или «хороший». Наблюдалась позитивная тенденция к снижению содержания биогенных элементов

(соединений азота и фосфора). Позже в период 2020-2023 гг. наметилась тенденция к ухудшению. К 2023 году водоемы с «отличным» классом качества в бассейне отсутствовали, преобладал «хороший» класс, а на некоторых притоках (Ясельда, Морочь) был установлен «удовлетворительный» класс. Касаемо биогенных элементов наблюдалась неустойчивая динамика с периодическими превышениями ПДК в отдельных точках (ниже городов Пинск, Мозырь), но в целом с 2012-2013 гг. прослеживалась тенденция к снижению концентраций аммоний-иона. Концентрации нитрит-иона стабильно оставались на низком уровне, близком к природному. Среди фосфатов и общего фосфора отмечались колебания. Несмотря на отдельные превышения, среднегодовые концентрации в основном оставались ниже ПДК. В последние годы наблюдается тенденция к незначительному снижению их содержания. Показатель БПК₅ характеризовался колебаниями, но в большинстве случаев соответствовал нормативу, также фиксировались колебания значений ХПК. Нефтепродукты в отдельные годы (напр., 2015, 2018) превышали ПДК (до 1.2 ПДК), в другие годы превышений не отмечалось. Отмечалось стабильно повышенное содержание железа, марганца, меди и цинка, что в значительной степени объясняется их высоким природным фоновым уровнем в регионе, а не антропогенным загрязнением. Кислородный режим оставался в целом удовлетворительным на протяжении всего периода. Содержание растворенного кислорода соответствовало норме, за исключением кратковременных сезонных снижений в периоды межени. Состав воды соответствовал природным характеристикам для региона: минерализация средняя, реакция воды от слабокислой до слабощелочной. Существенных изменений не было зафиксировано (табл. 2). Таким образом период стабильности сменился умеренным ухудшением. Если в период 2014-2019 гг. состояние бассейна реки Припять было в целом стабильным и хорошим, то к 2023 году наметилась негативная тенденция, выраженная в исчезновении водных объектов с «отличным» статусом и ухудшении состояния некоторых притоков. Основными загрязнителями остаются биогенные элементы (азот аммонийный, фосфаты), поступающие со сточными водами и с сельскохозяйственных территорий. Наиболее проблемные участки расположены ниже городов Пинск и Мозырь, а также на притоках Ясельда и Морочь, что указывает на значительную роль точечных источников загрязнения. Повышенное содержание металлов имеет в основном природный характер и не является индикатором антропогенной нагрузки.

Таблица 2

Динамика поступления загрязняющих веществ в водные объекты бассейна р. Припять

Показатель	2014 г., тонн	2024 г., тонн
Сульфат-ион	4576,4	6033,3
Хлори-ион	14065,5	16362,1
Азот общий	96,0	1211,9
ХПК	7635,4	9418,3
Аммоний-ион	687,5	955,2

Оценка качества водной среды в бассейне р. Припять за 2023 г. выявила неоднородность гидрохимического фона. В целом по бассейну 67 % водных объектов были отнесены ко 2-му классу («хорошее состояние»). При этом водоёмы демонстрируют более высокую устойчивость к антропогенному воздействию – 100 % из них сохраняют хорошее качество, тогда как среди водотоков данный показатель составляет 57 %.

На фоне общего благополучия выделяются локальные участки с пониженным качеством воды. В притоках Ясельда и Морочь диагностирован удовлетворительный уровень (3-й класс), что свидетельствует о поступлении загрязняющих веществ с ограниченных площадей водосбора. Наиболее контрастно антропогенный прессинг проявляется в нижних течениях рек

в зоне влияния городских агломераций. Участки, замыкающие створы городов Пинск и Мозырь, испытывают хроническую нагрузку, обусловленную сбросами крупных промышленных комплексов, что формирует устойчивые зоны экологического риска.

Заключение. В динамике стока бассейна Припяти выделяются два периода: многоводный 2014–2017 гг. (230–295 млн м³) и маловодный 2018–2024 гг. (177–229 млн м³). Рост показателя в 2022 г. не изменил общего тренда к снижению водности, что обусловлено климатическими факторами и указывает на нарушение водного баланса территории. В структуре водопотребления доминирует рыболовство (с незначительным спадом после 2016–2017 гг.). Промышленность и сельское хозяйство стабильно входят в тройку основных водопользователей. Ключевой позитивный тренд – рост оборотного водоснабжения: в 2023 г. его объем превысил 1 млрд м³, что свидетельствует о внедрении ресурсосберегающих технологий и снижении нагрузки на водные ресурсы Припяти. Промышленные предприятия, коммунально-бытовые стоки и сельскохозяйственные территории являются основными источниками антропогенной нагрузки на воды реки Припять. Анализ объема веществ-загрязнителей в поверхностных водах бассейна реки Припять за период 2014–2024 гг. выявил их рост в том числе:

Сульфат-ион на 1456,9 тонн, ежегодный темп роста – 161,8 т/год;

Азот общий на 1115,9 тонн, ежегодный темп роста – 123,9 т/год;

ХПК(Сг) на 1782,9 тонн, ежегодный темп роста – 198,1 т/год;

Взвешенные в-ва, на 555,7 тонн, ежегодный темп роста – 61,7 т/год;

Хлорид-ион на 2296,6 тонн, ежегодный темп роста – 255,2 т/год;

Аммоний-ион на 267,7 тонн, ежегодный темп роста – 29,7 т/год.

БПК на 1115,8 тонн, ежегодный темп роста – 91,7 т/год

Для обеспечения экологической безопасности и устойчивого водопользования в бассейне реки Припять необходима реализация комплекса мер, включающего модернизацию очистных сооружений в промышленных центрах (Пинск, Мозырь), создание водоохраных зон на проблемных притоках (Ясельда, Морочь), внедрение систем оборотного водоснабжения и адаптацию режимов работы водохранилищ к наблюдаемому снижению водности реки. Ключевым условием эффективного управления выступает совершенствование системы гидрохимического мониторинга с использованием современных информационных технологий.

Библиографические ссылки

1. План управления бассейном реки Припять / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Минск, 2025.

2. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 года № 149-З (Зарегистрирован в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 16 мая 2014 г. N 2/2147). Минск: Амалфея.

3. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод за 1981–2024 гг.; ред.сов: М. И. Козырев [и др.]. Мн: Белгидромет.

4. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2014–2024 гг.). Минск, 2025.

5. Экологические бюллетени за 2014–2023 гг. / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Минск, 2025.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF URBAN AREAS IN CHINA (ON THE EXAMPLE OF XI'AN CITY)

X. Qu¹⁾, Yu.V. Zhyltsova¹⁾

¹⁾ *International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, Zhyltsova@mail.ru*

Statistical indicators of the environmental condition in Xi'an, China, were analyzed. It was found that between 2009 and 2018, wastewater volumes, NO₂ and O₃ concentrations, industrial waste amounts, and noise levels in Xi'an increased (by factors of 1.02 to 3.2; $p = 0.005$). Concentrations of NO₂, O₃, PM_{2.5}, and PM₁₀ exceed Chinese air quality standards (by 1.1 to 2.0 times). It has been established that the following issues should be addressed for the sustainable development of Xi'an: improving air quality with respect to NO₂, O₃, PM_{2.5}, and PM₁₀; implementing measures to reduce municipal wastewater discharge; and increasing waste recycling rates.

Keywords: sustainable development; environmental pollution indicators; quality standards; environmental governance; Xi'an

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ В КИТАЕ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СИАНЬ)

С. Цюй¹⁾, Ю. В. Жильцова¹⁾

¹⁾ *Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, Zhyltsova@mail.ru*

Проанализированы статистические показатели состояния окружающей среды в г. Сиань (Китай). Установлено, что за 2009–2018 гг. в Сиане выросли объемы сточных вод, концентрация NO₂ и O₃, количество промышленных отходов, а также уровень шума (в 1,02 – 3,2 раз, $p=0.005$). Концентрации NO₂, O₃, PM_{2.5} и PM₁₀ превышают китайские стандарты качества воздуха (в 1,1–2,0 раз). Установлено, что для устойчивого развития города Сиань необходимо решить следующие проблемы: улучшить качество воздуха по таким показателям, как NO₂, O₃, PM_{2.5} и PM₁₀, принять меры по сокращению сброса сточных вод из жилых районов и увеличить объемы переработки отходов.

Ключевые слова: устойчивое развитие; показатели загрязнения окружающей среды; стандарты качества; показатели экологического управления; город Сиань.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-193-197>

As the largest central city in Northwest China, Xi'an is one of the cities proposed to be built as an international metropolis from the national level after Beijing and Shanghai. Therefore, the study on the evolution, path and sustainable development of Xi'an as the central city in the western region has important reference value for the economic development of the whole western region driven by the urban economy. Planning that by 2030, the economic strength of Xi'an will reach the standard of an international metropolis. As the environment questions was not dominant in the western city before, in the future construction and development of Xi'an, environment and economic and social balanced development and sustainable development is of great significance.

The evaluation and analysis of Xi'an environmental pollution indicators, analysis of Xi'an environmental governance indicators and environmental pollution indicators help to make accurate

conclusions and development trends of city, help to put forward suggestions for the sustainable development of Xi'an city, help to make accurate urban planning and greening improvement.

Therefore, the purpose was to assess the changes in some indicators of resource ecological environment subsystems as part of Xi'an city urban sustainable development index system. To achieve this goal, the following tasks were set:

- 1) to assess the changes in environmental pollution indicators of Xi'an;
- 2) to analyze environmental governance indicators and the accordance environmental pollution indicators of Xi'an to quality standards;
- 3) to offer recommendations for Xi'an urban sustainable development.

The objects of the study were environmental pollution indicators of Xi'an (industries wastewater discharge, industrial waste gas discharge, and industrial solid waste discharge) and some of environmental governance indicators (rate of industrial waste gas discharge up to standard, rate of industrial solid waste comprehensive treatment). Theoretical (analysis of educational and science literature on the research topic, methodological analysis, comparison, theoretical generalization) and statistical research methods (statistical processing of results and their interpretation) were used during investigation. The work analyzed data from the National Bureau of Statistics [1].

The place of research is Xi'an city. Xi'an is a sub-provincial city and a major metropolis in Shaanxi Province in northwest China (fig. 1). Xi'an is located in the central part of the Guanzhong Plain, at the foot of the Qinling Mountains, with the terrain sloping from southeast to northwest. The Weihe River flows north of the city. Xi'an has a semi-humid monsoon climate with distinct seasons.

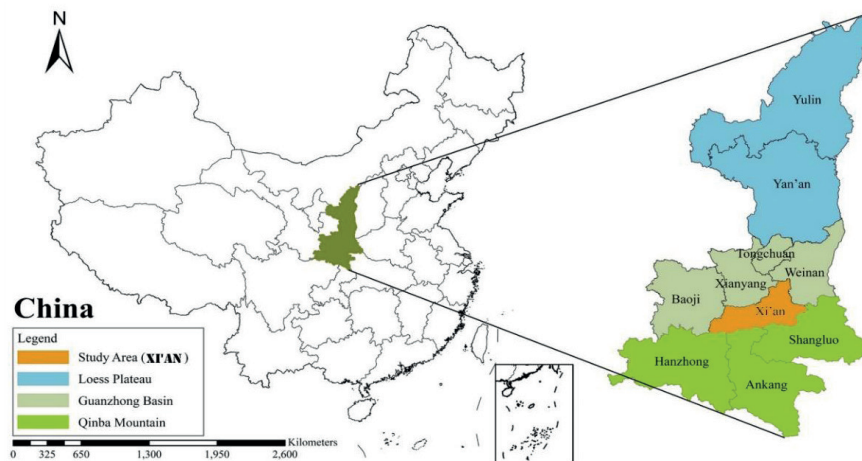


Fig. 1. Administrative subordination of Xi'an [Ecological Indicators 141, 2022]

It was found that the indicators «COD emissions» (fig.2–3) and «Ammonia nitrogen» (fig. 4–5) improved by 2.5 – 36.5 times.

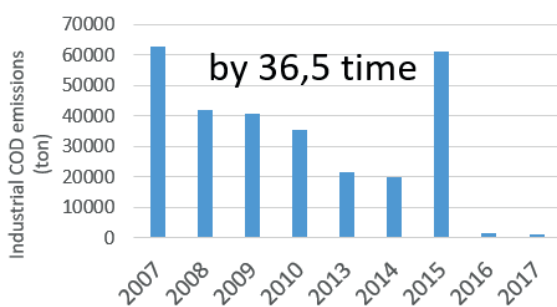


Fig. 2. Dynamics of Industrial COD emissions, ton

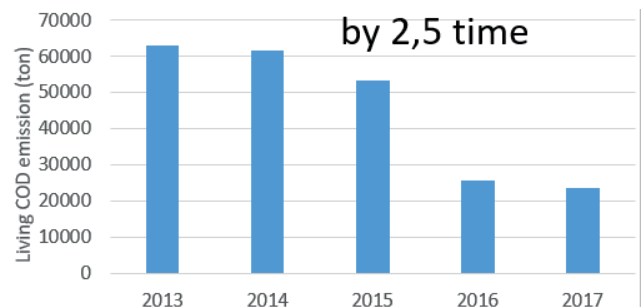


Fig. 3. Dynamics of Living COD emission, ton

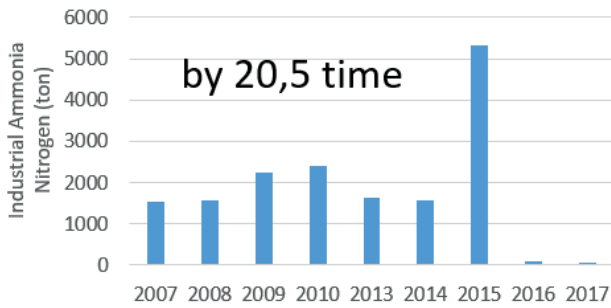


Fig. 4. Dynamics of Industrial Ammonia Nitrogen, ton

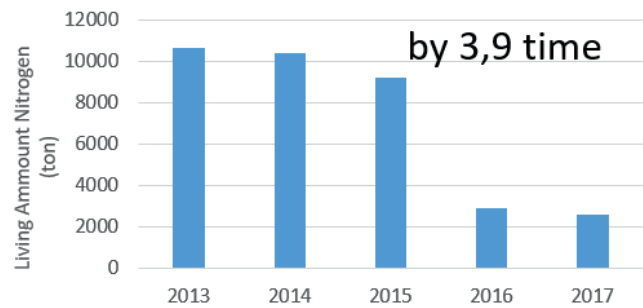


Fig. 5. Dynamics of Living Ammonia Nitrogen, ton

However, urban living waste water discharged increased by 1.7 times (fig. 6).

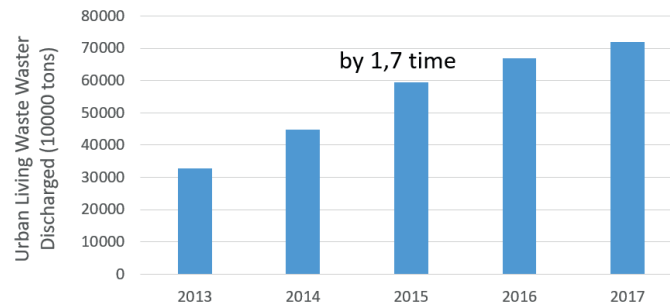


Fig. 6. Dynamics of Urban Living Wastewater Discharged (10000 tons), $p=0,05$

Since the introduction of government programs in China in 2012, air quality in Xi'an has improved: Volume of industrial SO₂, NxOy, smoke and dust Emission, Volume of NxOy Emission by Consumption, Annual average concentration of SO₂ are decreased (fig. 7–10).

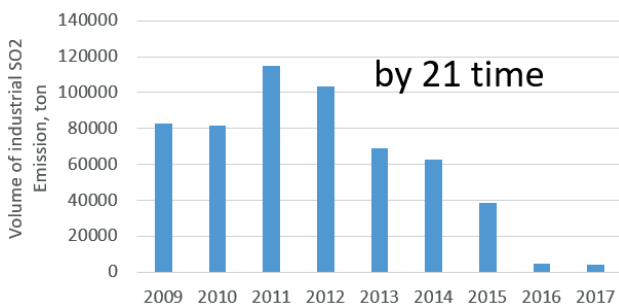


Fig. 7. Dynamics of Volume of industrial SO₂ Emission, ton

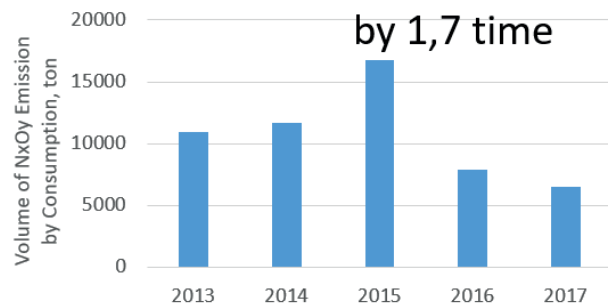


Fig. 8. Dynamics of Volume of NxOy Emission by Consumption, ton

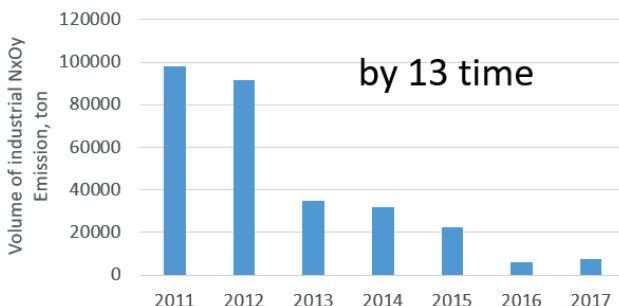


Fig. 9. Dynamics of Volume of industrial NxOy Emission, ton

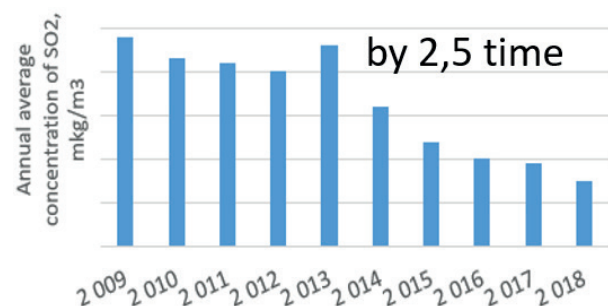


Fig. 10. Dynamics of annual average concentration of SO₂, mkg/m³

Days of Air Quality Equal to or Above Grade II is decreased. The proportion of days with air quality equal to or above class II during the entire year in Xi'an has recently been 56.8 % (fig. 11).

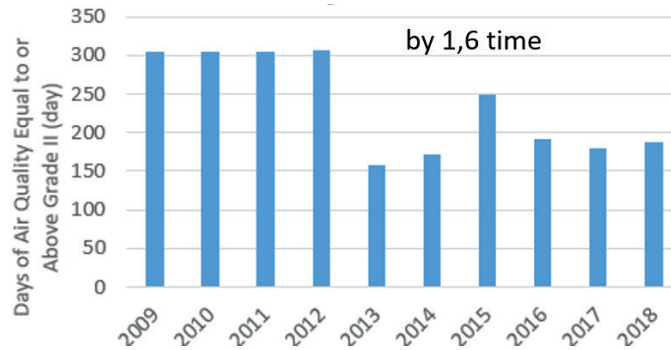


Fig. 11. Dynamics of Days of Air Quality Equal to or Above Grade II (day)

Annual average concentration of NO₂, 90th Percentile Daily Maximum 8 Hours Average Concentration of O₃ significantly ($p=0.05$) increased by 1.3 times (fig. 12–13).

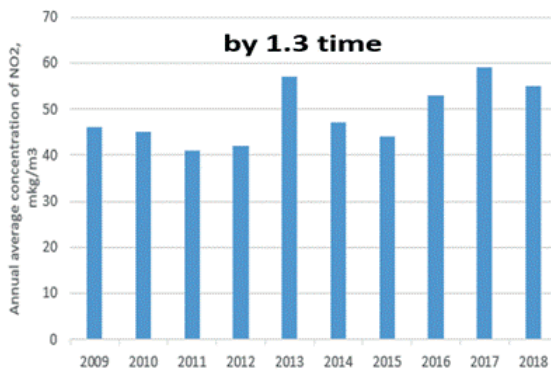


Fig. 12. Dynamics of Annual average concentration of NO₂, mkg/m³ ($p = 0.05$)

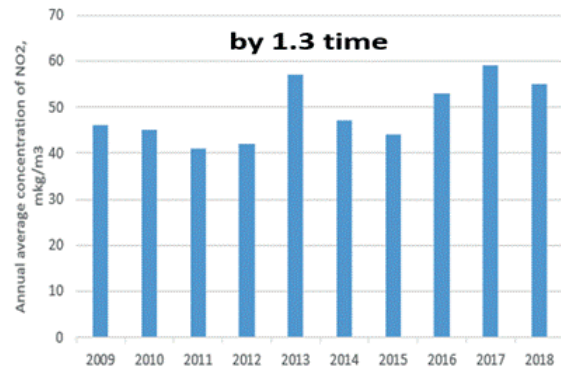


Fig. 13. Dynamics of 90th Percentile Daily Maximum 8 Hours Average Concentration of O₃, mkg/m³ ($p = 0.05$)

From 2009 to 2018, both Common industrial solid wastes produced (by 1.3 times) and Common industrial solid wastes comprehensively utilized (by 1.4 times) significantly decreased. If this trend persists, the problem of waste accumulation may arise. Already, the volume of industrial solid wastes on disposal facilities or to other sites were increased significantly by 3.2 times (fig. 14–15).

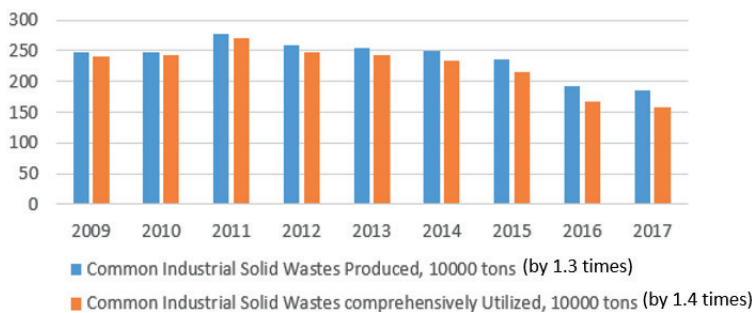


Fig. 14. Dynamics of Common industrial solid wastes produced (by 1.3 times) and Common industrial solid wastes comprehensively utilized

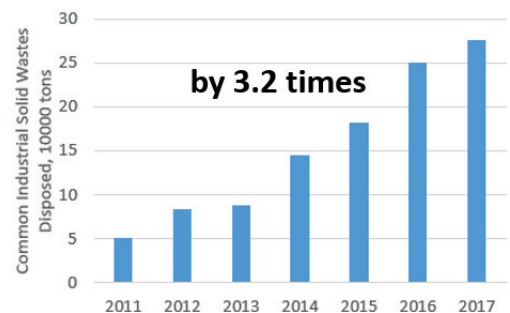


Fig. 15. Dynamics of Common Industrial Solid Wastes Disposed, 10000 ton

Over 10 years of environmental monitoring, the urban environment and traffic noise levels have significantly ($p = 0.05$) increased by 1.02 and 1.03 times, respectively.

NO₂ concentrations in Xi'an in recent years are by 5.5 times higher the average annual ambient air NO₂ concentration recommended by the World Health Organization (WHO) and by 1.4 times the Chinese standard. 90th Percentile Daily Maximum 8 Hours Average Concentration of O₃ is 1.1 and 1.8 times higher than the standard (fig. 16–17).

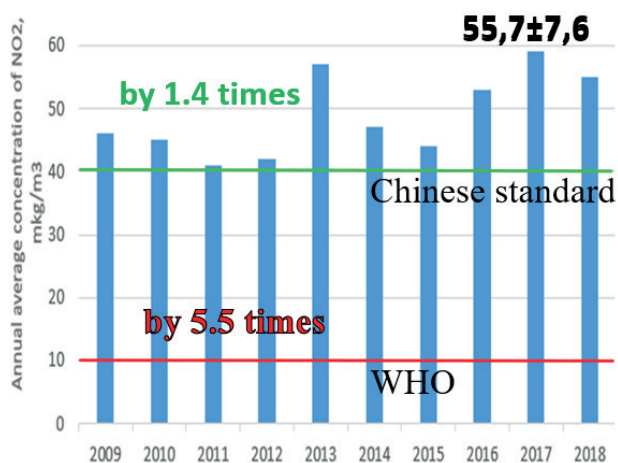


Fig. 16. Dynamics of Annual average concentration of NO₂, mkg/m³

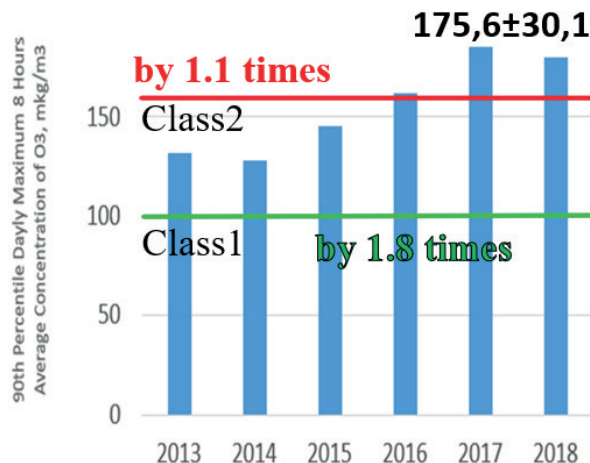


Fig. 17. Dynamics of 90th Percentile Daily Maximum 8 Hours Average Concentration of O₃, mkg/m³

There is an excess of PM_{2.5} by 2 times and PM₁₀ by 1.8 times (fig. 19–20). The average annual concentration of SO₂ in the air complies with the standard.

Thus, the following issues should be resolved for Xi'an city sustainable development:

1. To improve air quality in terms of indicators such as NO₂, O₃, PM_{2.5} and PM₁₀.
2. To take measures reducing urban living waste water discharged, and to increase waste recycling.
3. Noise indicator should be included in the environmental pollution indicators within the resource's ecological environment sustainable.
4. Measures should be taken to reduce volume of SO₂ emission by consumption and volume of consumption soot emission.
5. It is recommended to pay attention to the growth problems of Total waste water discharged and Common industrial solid wastes disposed in Xian.
6. The collection of statistical information does not contain data on waste processing, which is a very significant environmental indicator. So, Waste processing should be included in the environmental pollution indicators.

References

1. National Bureau of Statistics. URL: <https://www.stats.gov.cn/english/Statisticaldata/yearbook/> (дата обращения : 06.10.2022).

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕННОЙ, ВОДНОЙ И ВОЗДУШНОЙ СРЕДАХ

П. К. Шалькевич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, p.k.shalkevich@gmail.com

Рассматриваются феноменологические модели миграции загрязняющих веществ в почвенной, водной и воздушной средах. Анализируются процессы тепловлагопереноса, фильтрации, конвективно-диффузионного переноса, сорбции и межфазного взаимодействия. Обосновывается необходимость учета сушки почвы и газовой диффузии, влияющих на изменение поровой структуры и коэффициентов массопереноса, для повышения достоверности пространственно-временного прогнозирования распределения загрязняющих веществ.

Ключевые слова: миграция загрязняющих веществ; феноменологическое моделирование; почвенная среда; водная среда; воздушная среда; тепловлагоперенос; конвективно-диффузионный перенос; сушка почвы; диффузия газов в пористой среде.

PHENOMENOLOGICAL MODELS OF POLLUTANT MIGRATION IN SOIL, WATER, AND AIR ENVIRONMENTS

P. K. Shalkevich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, p.k.shalkevich@gmail.com

This paper considers phenomenological models of pollutant migration in soil, water, and air environments. It analyzes heat and moisture transfer, filtration, convection–diffusion transport, sorption, and interphase interactions. The necessity of accounting for soil drying and gas diffusion—processes that affect pore structure and mass transfer coefficients—is demonstrated to improve the reliability of spatial and temporal predictions of pollutant distribution.

Keywords: pollutant migration; phenomenological modeling; soil; water; air; heat and moisture transfer; convection–diffusion transport; soil drying; gas diffusion in porous media.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-198-202>

Введение. Из современной научной литературы [1–3] следует, что для прогнозирования миграции загрязняющих веществ в рамках ГИС комплексной оценки состояния биосферы необходимо учитывать основные пути миграции загрязняющих веществ – почвенный, водный и воздушный. Почва выступает важнейшим депо для поллютантов, где они подвержены как вертикальной, так и латеральной миграции, что обуславливает их переход в грунтовые и поверхностные воды. Этот процесс формирует предпосылки для корневого поглощения загрязняющих веществ растениями и их последующего накопления в органах, имеющих пищевую или кормовую ценность. Водный путь усиливает распространение токсикантов за счет их перемещения на значительные расстояния, что приводит к загрязнению источников питьевого водоснабжения и трансформации водных экосистем. Наряду с этим, воздушный путь миграции приобретает особое значение в условиях урбанизированных территорий, где органические соединения нефтяного происхождения и оксиды азо-

та инициируют фотохимические превращения в приземном слое атмосферы, способствуя образованию вторичных токсикантов и ухудшению качества воздушной среды. Следовательно, комплексный учет всех указанных направлений миграции является необходимым условием для объективной оценки состояния биосферы, прогнозирования экологических рисков и разработки научно обоснованных природоохранных мероприятий. Поэтому для комплексного описания миграции загрязняющих веществ применяются математические модели, позволяющие согласованно учитывать взаимосвязанные процессы их переноса и преобразования. Такое описание реализуется в рамках феноменологических моделей, основанных на законах сохранения массы и энергии, и обеспечивающих учет процессов тепловлагопереноса, конвективного переноса и диффузии загрязняющих веществ с учетом фазовых переходов и межфазного взаимодействия. Использование такого подхода обеспечивает интеграцию почвенного, водного и атмосферного путей миграции в единую расчетную схему и формирует основу для количественного анализа пространственно-временной динамики загрязнения.

Основные феноменологические модели миграции загрязняющих веществ. Для компьютерного прогнозирования миграции загрязняющих веществ в почве моделью, учитывающей наибольшее число параметров, является система уравнений взаимосвязанного тепловлагопереноса и конвективной диффузии [4]:

$$\begin{cases} C_v \frac{\partial T}{\partial t} - L \frac{\partial \theta_{liq}}{\partial t} + L \rho_{liq} \nabla v_{liq} - \nabla(\lambda \nabla T) = 0 \\ C_{hv} \frac{\partial T}{\partial t} + C_{wp} \frac{\partial P_{liq}}{\partial t} - \nabla(K_{hv} \nabla T) - \nabla(K_{wv} \nabla P_{liq} - K_w \rho_{liq} g \nabla D) = 0, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \theta_{liq} \frac{\partial C}{\partial t} + C \frac{\partial \theta_{liq}}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial a}{\partial t} - \nabla(\theta_{liq} \mathbf{D} \nabla C - \mathbf{u} C) + \lambda \theta_{liq} C + \lambda \rho_b K_d C = 0 \\ \rho_b \frac{\partial a}{\partial t} - \beta \rho_b (K_d C - a) = 0 \end{cases}$$

где C_v – объемная теплоемкость, Дж/(м³·К); T – температура, К; t – время, с; L – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг; θ_{liq} – объемное влагосодержание, м³/м³; ρ_{liq} – плотность жидкости, кг/м³; v_{liq} – скорость движения жидкости, м/с; λ – теплопроводность, Вт/(м·К); C_{hv} , C_{wp} , K_{hv} – нелинейные коэффициенты, являющиеся функциями температуры и давления жидкости; P_{liq} – давление жидкости, Па; K_{wv} , K_w – коэффициенты, зависящие от проницаемости и динамической вязкости жидкости и водяного пара; g – ускорение свободного падения, м/с²; D – направление, в котором действует гравитация; C – концентрация вещества в растворе, кг/м³; ρ_b – плотность твердой фазы почвы, кг/м³; a – концентрация вещества в адсорбированном состоянии, кг/м³; \mathbf{D} – тензор гидродинамической дисперсии, м²/с; \mathbf{u} – вектор скорости переноса вещества в почве потоком жидкости, м/с; K_d – коэффициент распределения между веществом растворимым в жидкости и твердой фазой, м³/кг; β – скорость сорбции, 1/с;

Процесс переноса перенос загрязняющих веществ в зоне аэрации и грунтовых водах с учетом поверхностного стока и инфильтрации описывается рядом процессов, учет которых позволит в полной мере осуществить компьютерное моделирование распространения загрязняющих веществ в водных экосистемах [4–8]:

– уравнения распространения загрязняющих веществ с поверхностным стоком:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UC) + \frac{\partial}{\partial y}(VC) - \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + k_c C = 0,$$

где, C – концентрация загрязняющего вещества; U и V – скорость течения воды в направлении x и y соответственно; E_x и E_y – коэффициенты дисперсии в направлении x и y соответственно; k_c – скорость переноса массы вещества от источника.

– системы уравнений описывающей поверхностный сток:

$$\begin{cases} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial[(h+\eta)U]}{\partial x} + \frac{\partial[(h+\eta)V]}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = fV - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} \frac{h+\eta}{2} + \frac{\rho_a k W_v^2 \cos \varphi}{h+\eta} - \frac{gU \sqrt{U^2 + V^2}}{(h+\eta)C^2} + \frac{e}{\rho} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = fU - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{h+\eta}{2} + \frac{\rho_a k W_v^2 \sin \varphi}{h+\eta} - \frac{gV \sqrt{U^2 + V^2}}{(h+\eta)C^2} + \frac{e}{\rho} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \end{cases}$$

где x и y – горизонтальные координаты, t – время, U и V – скорость течения воды в направлении x и y соответственно, h – глубина потока, η – высота поверхности воды, f – сила Кориолиса, g – ускорение свободного падения, ρ – плотность воды, ρ_a – плотность воздуха, k – эмпирический коэффициент ветровой нагрузки, W_v – скорость ветра, φ – направление ветра, C – коэффициент Шези, e – коэффициент турбулентной вязкости.

– уравнение движение влаги в зоне аэрации с учетом инфильтрации:

$$\frac{\partial w}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial w}{\partial P_{liq}} \frac{\partial P_{liq}}{\partial t} = \nabla \left(\rho_v \frac{K_0 K_v}{\eta_v} \frac{\partial P_v}{\partial T} \nabla T \right) + \nabla \left(\rho_{liq} \frac{K_0 K_{liq}}{\eta_{liq}} \nabla P_{liq} + \rho_v \frac{K_0 K_v}{\eta_v} \frac{\partial P_v}{\partial P_{liq}} \nabla P_{liq} - \rho_{liq} \frac{K_0 K_{liq}}{\eta_{liq}} \rho_{liq} g \nabla z \right)$$

где K_0 – коэффициент проницаемости пористой среды; $K_{liq}(\theta_{liq})$ и $K_v(\theta_v)$ – коэффициенты относительной фазовой проницаемости жидкости и водяного пара; η_{liq} и η_v – коэффициенты динамической вязкости жидкости и водяного пара; g – ускорение свободного падения; z – координата в вертикальном направлении.

– уравнения переноса загрязняющих веществ в зоне аэрации с учетом процессов инфильтрации атмосферных осадков:

$$\begin{aligned} \theta_{liq} \frac{\partial C}{\partial t} + C \frac{\partial \theta_{liq}}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial a}{\partial t} &= \nabla \cdot (\theta_{liq} \mathbf{D} \nabla C - \mathbf{u} C) + F \\ \rho_b \frac{\partial a}{\partial t} &= \rho_b \beta (K_d C - a) \end{aligned}$$

где θ_{liq} – объемное влагосодержание грунта; C и a – концентрация загрязняющего вещества в растворе и адсорбированном состоянии; t – время; ρ_b – плотность твердой фазы грунта; \mathbf{u} – вектор скорости движения влаги в грунте; F – функция, характеризующая интенсивность изменения концентрации загрязняющего вещества за счет процессов химического и радиоактивного превращения, поглощения вещества растениями и т. п.; K_d – коэффициент распределения, показывающий отношение концентрации адсорбированного вещества к концентрации вещества в растворе.

– уравнение движения грунтовых вод:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) G(x, y, z, t)$$

где μ – коэффициент водоотдачи (недостаток насыщения), K_x , K_y и K_z – коэффициенты фильтрации в направлении осей x , y и z соответственно; $H(x, y, z, t)$ – гидравлический напор; $G(x, y, z, t)$ – известная интенсивность пополнения (отъема) грунтовых вод.

– уравнение распространения загрязняющих веществ в грунтовых водах:

$$\frac{\partial(\theta_{\text{лиq}} C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta_{\text{лиq}} D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\theta_{\text{лиq}} D_{ij} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta_{\text{лиq}} D_{ij} \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (\theta_{\text{лиq}} \vartheta_x) - \frac{\partial}{\partial y} (\theta_{\text{лиq}} \vartheta_y) - \frac{\partial}{\partial z} (\theta_{\text{лиq}} \vartheta_z) + Q(x, y, z, t)$$

где C – искомая концентрация загрязняющего вещества; D_{ij} – коэффициент гидродинамической дисперсии; v_x , v_y , v_z – скорость движения грунтовых вод в направлении осей x , y и z соответственно; $Q(x, y, z, t)$ – известная интенсивность источников загрязнений.

Приведенные выше модели в своей совокупности наиболее полно описывают миграцию загрязняющих веществ в почвах и водных средах, однако лишь частично охватывают вопросы их переноса в газообразной среде. Для корректного прогноза миграции загрязняющих веществ в почвенной среде необходимо учитывать изменение влажностного состояния грунта, поскольку процессы высыхания существенно влияют на структуру порового пространства, коэффициенты массопереноса и фазовое распределение загрязнителей [9]. В ходе сушки происходит перераспределение жидкой и газовой фаз, увеличивается газонаполненная пористость и формируются условия для интенсификации переноса летучих и газообразных компонентов.

В этой связи задача сушки должна рассматриваться как неотъемлемая часть моделирования миграции загрязняющих веществ, так как она определяет динамику коэффициентов диффузии, проницаемости и сорбционно-десорбционных процессов в почве. Для адекватного описания переноса загрязняющих веществ в формирующейся газовой фазе целесообразно использовать модель диффузии газов в пористой среде, учитывающую эффективную пористость, извилистость порового пространства и зависимость коэффициента диффузии от влажности почвы. Поэтому для прогнозирования миграции загрязняющих веществ в газообразных средах в качестве основы предлагается использовать математическую модель, предложенную в [10]:

$$\frac{\partial C_1}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{\text{эфф}} C_1 \frac{\partial}{\partial x} (T \ln C_1) \right)$$

где C_1 – концентрация газа А в точке X в момент времени t , %; $D_{\text{эфф}}$ – эффективный коэффициент диффузии, $K^0 \cdot \text{с}/\text{м}^2$; T – температура смеси газов, K^0 .

Таким образом, совместное решение задачи влагообмена (сушки) и диффузионного переноса газов обеспечивает физически согласованное описание миграции загрязняющих веществ и повышает достоверность прогностических оценок пространственно-временного распределения загрязнений в почвах.

Заключение. В работе проведён анализ феноменологических моделей, применяемых для прогнозирования миграции загрязняющих веществ в почвенных и водных средах, и показано, что их совместное использование позволяет учитывать основные механизмы тепловлагодиффузионного переноса, фильтрации, конвективно-диффузионного переноса, сорбции и химических превращений поллютантов. Представленные системы уравнений обеспечивают согласованное описание

вертикальной и латеральной миграции загрязняющих веществ в зоне аэрации, поверхностных водах и грунтовых водах, что формирует основу для построения комплексных ГИС-ориентированных моделей оценки экологического состояния территорий. Установлено, что существующие подходы в большей степени ориентированы на описание миграции загрязняющих веществ в жидкой фазе и лишь частично учитывают процессы их переноса в газообразной среде. Между тем изменение влажностного состояния почвы, обусловленное процессами сушки, приводит к существенной трансформации структуры порового пространства, увеличению газонаполненной пористости и изменению эффективных коэффициентов массопереноса, что определяет интенсивность миграции летучих и газообразных компонентов. Показано, что включение задачи сушки в состав модели миграции загрязняющих веществ является необходимым условием корректного описания межфазного перераспределения поллютантов и динамики их диффузионного переноса. Для адекватного моделирования распространения загрязняющих веществ в газовой фазе обоснована целесообразность использования модели диффузии газов в пористой среде, учитывающей влияние влажности, температуры, эффективной пористости и извилистости порового пространства на коэффициент диффузии. Таким образом, совместное применение моделей теплового переноса, фильтрации и диффузии газов обеспечивает физически согласованное описание многосредней миграции загрязняющих веществ и повышает достоверность прогнозирования их пространственно-временного распределения. Полученные результаты могут быть использованы при разработке комплексных ГИС-систем экологического мониторинга, оценке экологических рисков и обосновании природоохранных мероприятий на урбанизированных и техногенно нагруженных территориях.

Библиографические ссылки

1. *Bărbulescu A., Barbeș L., Dumitriu C. Ș.* Advances in Water, Air and Soil Pollution Monitoring, Modeling and Restoration // *Toxics*. 2024. Vol. 12, iss. 4. P. 244.
2. *Dawoud I. A., Gheith A. M., Elemam A. K.* Using GIS model to evaluate the industrial pollution in the coastal area of Rabigh governorate, KSA // *Discov Environ*. 2025. Vol. 3. P. 37.
3. *Pietrzak D.* Modeling migration of organic pollutants in groundwater – Review of available software // *Environmental Modelling & Software*. 2021. Vol. 144. P. 105145.
4. Компьютерное моделирование миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах / С. П. Кундас [и др.]. Минск, 2011. 212 с.
5. *Шалькевич П. К., Кундас С. П., Гишкелюк И. А.* Математическое моделирование распространения загрязняющих веществ от экологически опасных объектов с учетом поверхностного стока и инфльтрации // *Доклады БГУИР*. 2017. № 7 (109). С. 45–52.
6. *Гринчик Н. Н., Гишкелюк И. А., Кундас С. П.* Моделирование тепломассопереноса и поверхностных явлений в капиллярно-пористых средах на основе уравнений двухфазной фильтрации и изотерм сорбции // *Сборник научных статей «Современная наука 2010»*. 2011. № 1. С. 56–60.
7. *Гишкелюк И. А., Кундас С. П.* Численное моделирование неізотермического переноса влаги и растворимых веществ в природных дисперсных средах // *Экологический вестник*. 2011. № 1(15). С. 97–104.
8. *Gishkeluk I. A., Кундас С. П., Hilko O. S.* Numerical Simulation of Nonisothermal Water and Contaminant Transport in Natural Disperse Media // *Protection and Restoration of the Environment XI [Electronic resources]: Proceedings of International Conference, Thessaloniki, 3–6 July, 2012. Electronic data and software (189 Mb)*. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, 2012. 1 elect. opt. disk (CD-ROM). P. 721–729.
9. *Гринчик Н. Н.* Nonisothermal mass transfer in porous media // *Инженерно-физический журнал*. – 2003. Т. 76, № 6. С. 139–144.
10. *Шалькевич П. К., Шилов Н. А., Гринчик Н. Н.* Компьютерное моделирование диффузии в смеси идеальных газов с учетом зависимости коэффициента диффузии от энтропии смешения в программном комплексе Wolfram Mathematica // *Информатика*. 2024. Т. 21, № 4. С. 46–57.

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВЛАГОУДЕРЖИВАЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

А. Э. Юницкий¹⁾, Н. С. Першай¹⁾, А. А. Литвинчук¹⁾, С. А. Арнаут¹⁾

¹⁾ ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная, 33,
220070, г. Минск, Беларусь, n.pershai@unitsky.com

В статье рассматривается инновационная технология восстановления и поддержания плодородия почв в условиях аридного климата, разработанная ЗАО «Струнные технологии». Представлены результаты комплексного применения влагоудерживающих полимеров и продуктов линейки uTerra, обогащённых гуминовыми кислотами и полезными микроорганизмами. Установлено, что синергетический эффект данных компонентов обеспечивает пролонгированное снабжение растений влагой и питательными веществами.

Ключевые слова: влагоудерживающие полимеры; биогумус; гуминовые вещества; аридные регионы; гуминовые удобрения; микробиологические препараты; восстановление почв; устойчивое земледелие.

INCREASING SOIL FERTILITY IN ARID CONDITIONS THROUGH THE COMBINED USE OF WATER-RETAINING POLYMERS AND ORGANIC FERTILIZERS

A. E. Unitsky¹⁾, N. S. Pershai¹⁾, A. A. Litvinchuk¹⁾, S. A. Arnaut¹⁾

¹⁾ Unitsky String Technologies Inc., Zheleznorozhnaya str, 33,
220070, Minsk, Republic of Belarus, n.pershai@unitsky.com

This article examines an innovative technology for restoring and maintaining soil fertility in arid climates, developed by String Technologies. It presents the results of the combined use of water-retaining polymers and uTerra products enriched with humic acids and beneficial microorganisms. It has been established that the synergistic effect of these components ensures a prolonged supply of moisture and nutrients to plants.

Keywords: water-retaining polymers; vermicompost; humic substances; arid regions; humic fertilizers; microbiological preparations; soil restoration; sustainable agriculture.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-203-206>

В условиях прогрессирующего изменения климата и расширения зон опустынивания проблема сохранения почвенной влаги становится критическим фактором обеспечения продовольственной безопасности. Традиционные методы мелиорации в аридных регионах часто оказываются недостаточно эффективными, что диктует необходимость внедрения наукоемких решений для управления водным и питательным режимами почв. Перспективным направлением в этой области является синергетическое использование гидрогелей и гуминовых удобрений: в то время как полимерная матрица обеспечивает пролонгированное удержание влаги, гуминовые комплексы активируют физиологические процессы, создавая оптимальную среду для питания и стабильного роста растений даже в условиях экстремального стресса [1–3].

Применение влагоудерживающих гидрогелей в сочетании с продуктами uTerra способствует достижению следующих результатов [4–6]:

– интенсификация озеленения: формирование устойчивого плодородного горизонта и успешная приживаемость растений в условиях острого дефицита водных ресурсов и абиотического стресса;

– оптимизация водопотребления: существенное сокращение расхода поливной воды за счёт пролонгированного удержания влаги в ризосфере и снижения потерь на физическое испарение;

– продовольственная автономность: создание самодостаточных агросистем, обеспечивающих стабильную урожайность и локальную продовольственную независимость;

– экологическая регенерация: предотвращение антропогенной деградации почв в городских экосистемах и восстановление естественного биологического баланса в урбанизированных зонах.

Максимизация эффективности предлагаемого комплекса требует разработки и верификации регионально-адаптированных технологий, учитывающих специфику конкретных почвенно-климатических зон. Непрерывное совершенствование регламентов применения препаратов uTerra и гидрогелей позволит оптимизировать дозировки и экспозицию в зависимости от лимитирующих факторов среды.

Цель работы – исследование синергетического воздействия влагоудерживающих материалов и продуктов линейки uTerra на водно-питательный режим почвы для разработки эффективных технологий рекультивации деградированных земель и оптимизации урожайности культур.

Объект исследования – различные субстраты, включающие в себя:

– строительный песок фракции 0–3 мм (немытый);

– биогумус uTerra (продукт переработки органических продуктов с участием почвенных микроорганизмов и земляного червя *Lumbricus uTerris*): органическое вещество – 50 %, азот (общий) – 0,9 %, фосфор (общий) – 0,9 %, калий (общий) – 0,9 %, pH – 7.;

– гидрогель GELSAP-201 (полиакрилат калия): фракция – 0,1–0,5 мм, степень набухания – до 200 раз, плотность в сухом виде – 1,1–1,3 г/см³, pH – 7, температурная устойчивость от –40 до 60 °С без потери влагоудерживающей способности;

– эликсир плодородия uTerra (жидкое комплексное органическое удобрение, разработанное для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения качества почвы).

В состав эликсира плодородия uTerra входят жидкая фракция биогумуса, содержащая полезные почвенные микроорганизмы из мирового Банка почв uTerra; гуминовые и фульвокислоты бурого угля; комплекс макро-, микро- и ультрамикроэлементов; органические стимуляторы роста, мёд, меласса, элиситоры грибов и др.

В процессе работы были проведены исследования, направленные на оценку влияния продуктов uTerra в сочетании с гидрогелем на рост и развитие растений. Для этого были подготовлены пять вариантов почвогрунта. В качестве тестовой культуры использовали листовой салат *Lactuca sativa* L. Время вегетации составляло 30 дней. Салат выращивали в пластиковых стаканчиках объёмом 250 мл при температуре 23–26 °С. После 20 суток вегетации был проведён стресс-тест: для имитации условий засухи полив опытных образцов прекратили на 10 дней. Контрольная группа при этом оставалась на стандартном режиме орошения.

Данные о составах субстратов, режимах полива и результаты визуального мониторинга систематизированы в таблице. Полученные данные (таблица) подтверждают прямую зависимость урожайности и средней высоты растений от компонентного состава почвогрунта и выбранного режима полива:

– контроль (песок): в чистом песке без полива (образец № 1) рост салата практически отсутствовал. Введение раствора uTerra (образец №2) позволило достичь урожайности 129,3 г/м² и высоты 48 мм, подтверждая стимулирующий эффект эликсира даже на бедных почвах;

– влияние гидрогеля: добавление 0,5 % гидрогеля (образец № 3) обеспечило автономное выживание растений в условиях засухи с урожайностью 109,2 г/м². При штатном поливе (образец № 4) продуктивность выросла до 250,3 г/м²;

Условия проведения и результаты эксперимента

№ образца	Условия			Результаты	
	Почвогрунт	Полив	Стресс-тест	Урожайность, г/м ²	Средняя высота растений, мм
1	Песок	2 % раствор uTerra	Без полива	2,8	38
2			–	129,3	48
3	Песок + 0,5 % гидрогеля	2 % раствор uTerra	Без полива	109,2	32
4			–	250,3	42
5	Песок + 30 % биогумуса uTerra	Вода	Без полива	117	36
6			–	298,8	46
7	Песок + 0,5 % гидрогеля + 30 % биогумуса uTerra	Вода	Без полива	219,6	36
8			–	436,7	58
9	Песок + 0,5 % гидрогеля + 30 % биогумуса uTerra	2 % раствор uTerra	Без полива	290,1	39
10			–	817,7	71

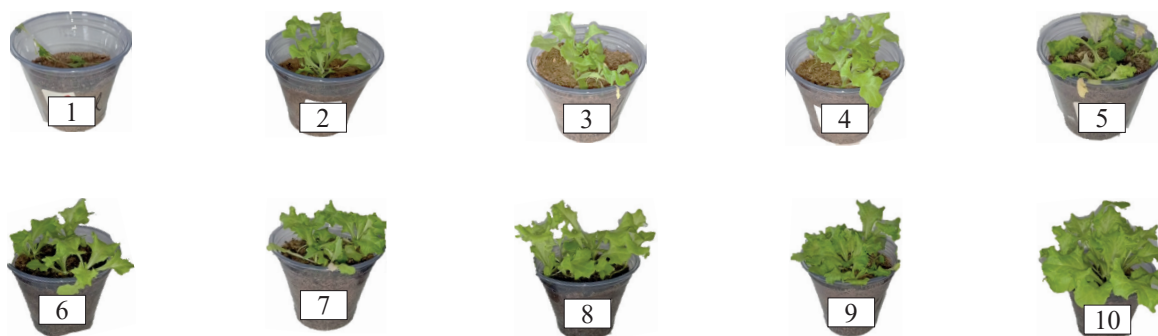
– эффект биогумуса: субстрат с 30 % биогумуса (образец № 5) показал сопоставимые с гидрогелем влагоудерживающие свойства (117 г/м² без полива). С регулярным орошением (образец №6) урожайность составила 298,8 г/м²;

– синергия компонентов: комбинирование биогумуса и гидрогеля (образец № 7) существенно повысило устойчивость к стрессу (219,6 г/м² без полива). При поливе (образец №8) показатель достиг 436,7 г/м²;

– максимальные показатели: наилучший результат продемонстрировал образец № 10 (комплекс биогумуса, гидрогеля и почвенного эликсира uTerra). В условиях засухи он выдал рекордные 290,1 г/м², а при поливе – 817,7 г/м² при высоте растений 71 мм.

Применение гидрогеля в сочетании с биогумусом повысило эффективность влагоудержания, что привело к увеличению урожайности в стресс-тесте на 99 % (образцы № 7 и 8). Добавление 2 % раствора uTerra дало ещё 87 % прироста (образцы № 8 и 10), а суммарный эффект от использования комплекса (гидрогель + биогумус + эликсир) обеспечил рост продуктивности на 174 % (образцы № 6 и 10), что подтверждает высокую эффективность данной комбинации.

Результаты стресс-тестирования подтвердили высокую дефицитоустойчивость растений, выращенных с применением продуктов uTerra и гидрогеля: в отличие от контрольной группы, опытные образцы сохранили жизнеспособность в течение 10-дневного безполивного периода (рисунок).



Фотофиксация образцов салата листового на 30-й день вегетации

Полученные данные свидетельствуют о значительном потенциале этих компонентов в повышении адаптивности агрокультур и их способности стабилизировать урожайность в условиях засухи.

Данные показали, что внесение биогумуса и гидрогеля в субстрат существенно повышает продуктивность и засухоустойчивость культур. Применение почвенного эликсира uTerra эффективно стимулирует рост растений даже на бедных песчаных почвах. Наилучшие показатели урожайности и морфометрических параметров достигаются при комплексном использовании 0,5 % гидрогеля, биогумуса и раствора uTerra, что делает данную комбинацию оптимальной для выращивания растений в условиях ограниченных ресурсов.

Таким образом, результаты исследования подтвердили, что интеграция гидрогеля и биогумуса uTerra в субстрат оптимизирует его водный баланс: повышается влагоудерживающая способность, замедляется испарение и предотвращается вымывание питательных веществ. Применение этой комбинации обеспечило рост продуктивности на 99 % в условиях засухи. Включение в схему почвенного эликсира uTerra дало дополнительный прирост в 87 %, а синергетический эффект всех трёх компонентов (гидрогель, биогумус и эликсир) позволил увеличить итоговые показатели на 174 %.

Библиографические ссылки

1. *Bora A., Karak N.* Starch and Itaconic Acid-Based Superabsorbent Hydrogels for Agricultural Application // *European Polymer Journal*. 2022. Vol. 176. 111430.
2. *Buchmann C., Bentz J., Schaumann G. E.* Intrinsic and Model Polymer Hydrogel-Induced Soil Structural Stability of a Silty Sand Soil as Affected by Soil Moisture Dynamics // *Soil and Tillage Research*. 2015. Vol. 154. P. 22–33.
3. Global Warming Potential and Greenhouse Gas Emission Under Different Soil Nutrient Management Practices in Soybean–Wheat System of Central India / S. Lenka [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24. P. 4603–4612.
4. *Chen Y.-C., Chen Y.-H.* Thermo and pH-Responsive Methylcellulose and Hydroxypropyl Methylcellulose Hydrogels Containing K₂SO₄ for Water Retention and a Controlled-Release Water-Soluble Fertilizer // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 655. P. 958–967.
5. *Katiyar D., Hemantaranjan A., Singh B.* Chitosan as a Promising Natural Compound to Enhance Potential Physiological Responses in Plant // *Indian Journal of Plant Physiology*. 2015. Vol. 20. P. 1–9.
6. Dual-Functional Lignin-Based Hydrogels for Sustained Release of Agrochemicals and Heavy Metal Ion Complexation / L. Zheng [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. Vol. 235. 123701.

СЕКЦИЯ 5

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ И УРБОЭКОЛОГИИ

ЯЗЫК КАК ИНСТРУМЕНТ УРБОЭКОЛОГИИ: ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО–ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ СТУДЕНТОВ

Ю. И. Буткевич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kfse-isei@bsu.by

В статье рассматривается возможность интеграции социально-экономических аспектов урбоэкологии в процесс преподавания английского языка как фактор формирования экологического сознания студентов. Актуальность исследования обусловлена переходом от абстрактного понятия экологического образования к практико-ориентированным методам обучения. Теоретической основой исследования явились концепция экологического сознания, концепция социально-экономического взаимодействия, эколингвистический подход и концепция образования для устойчивого развития. В качестве методов исследования использован анализ научной литературы и описание опыта апробации интерактивных методов обучения в МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. Представлены практические примеры занятий, сделан вывод, что интеграция урбоэкологической тематики в языковое образование способствует не только овладению профессиональной лексикой, но и формированию целостного экологического мировоззрения студентов.

Ключевые слова: экологическое сознание; урбоэкология; интерактивные методы обучения; экологическое образование; социально-экономические аспекты; устойчивое развитие; зеленая экономика; проектная деятельность; работа с инфографикой.

LANGUAGE AS A TOOL OF URBAN ECOLOGY: FORMATION OF STUDENTS' ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC CONSCIOUSNESS

Yu. I. Butkevich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kfse-isei@bsu.by

The article examines the potential of integrating socio-economic aspects of urban ecology into the process of teaching English as a factor in the formation of students' environmental consciousness. The relevance of the study is determined by the transition from an abstract concept of environmental education to practice-oriented teaching methods. The theoretical framework of the research is based on the concept of environmental consciousness, the concept of socio-economic interaction, the ecolinguistic approach, and the concept of education for sustainable development. The research methods include the analysis of scientific literature and a description of the experience of implementing interactive teaching methods at the International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University (ISEI BSU). Practical examples of lessons are presented, and it is concluded that the integration of urban ecology topics into language education contributes not only to the mastery of professional vocabulary but also to the formation of a holistic ecological worldview in students.

Keywords: environmental consciousness; urban ecology; interactive teaching methods; environmental education; socio-economic aspects; sustainable development; green economy; project-based learning; infographics work.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-207-211>

Введение. Проблемы экологического образования и воспитания все чаще обсуждаются современными учеными на конференциях различных уровней и рассматриваются в работах отечественных и зарубежных авторов (Андреева Н. Д., Шевчук Е. Н., Гагарин А. В., Мусаев Д. Г. и др.), в периодических изданиях, особенно педагогических. Возможно, это связано с тем, что именно этот аспект экологизации сознания больше всего пострадал от издержек прошлого, когда многие публикации рассматривали экологическое воспитание и образование с абстрактной позиции и не давали действенных и конкретных практических рекомендаций.

В последнее время можно часто встретить в СМИ, в сборниках материалов конференций, научных изданиях результаты социологических исследований, содержащих характеристики уровня экологизации сознания населения города, региона, области, страны; популяризируются «зелёные» движения; действуют международные организации, такие как ЮНЕСКО (является ведущим учреждением ООН в области образования и задаёт глобальную повестку экологизации своими программами и инициативами: Партнерство за экологизацию образования, Образование для устойчивого развития до 2030 г. и др.), ЮНЕП (UNEP) – программа ООН по окружающей среде (фокусируется на практических инструментах для образовательных учреждений и поддержке «зелёных» навыков), Европейская экономическая комиссия ООН (реализует региональную стратегию, охватывающую Европу, Центральную Азию и Северную Америку).

Все вышеупомянутое свидетельствует о необходимости формирования экологически ответственного мировоззрения на всех ступенях обучения и воспитания. Система высшего образования является ключевым институтом, способным удовлетворить этот запрос, так как на этапе профессионального образования экологическую проблематику можно интегрировать в содержание всех учебных дисциплин, включая гуманитарные и лингвистические дисциплины. Однако, если для естественнонаучных дисциплин, связь экологии и профессии является очевидной, то потенциал интеграции экологии в лингвистические дисциплины недооценен.

Язык – не только средство общения, но и инструмент для формирования картины мира, открывающий широкие возможности осмысления социально-экономических аспектов современных экологических вызовов, которые характерны для урбанизированной среды. В данном исследовании мы рассмотрим, как процесс изучения иностранного языка способствует формированию экологического сознания студентов в контексте урбоэкологии.

Современная урбоэкосистема (городская среда) является узлом социальных, экономических и экологических противоречий, так как проблемы загрязнения, энергоэффективности, утилизации отходов и качества жизни горожан нуждаются в комплексном подходе. В данном контексте экологическое сознание перестает быть естественнонаучной категорией и приобретает социально-экономический характер, так как его формирование у студентов – будущих активных участников городских процессов – является одной из задач высшей школы. Являясь аспирантом, работающим над диссертационным исследованием «Формирование экологического сознания студентов в процессе преподавания лингвистических дисциплин (на примере английского языка)», я вижу глубокую связь между языком, экономикой и экологией города. Целью данной статьи является показать, как английский язык становится эффективным инструментом для осмысления студентами социально-экономических вызовов урбанизированных территорий.

Материалы и методы исследования. В процессе исследования и работы с теоретической базой по данной тематике, мною были выделены следующие концептуальные положения:

1) концепция экологического сознания, далее ЭС (С. Д. Дерябо, В. А. Ясвин), которая рассматривает ЭС как совокупность представлений о взаимосвязи в системе «человек-природа», субъективного отношения к окружающей среде и взаимодействия с ней, в контексте урбоэкологии город – искусственная, но экологически значимая среда обитания;

2) концепция социально-экономического взаимодействия (Д. С. Ермаков, И. Т. Суравегина), по которой современные экологические проблемы носят антропогенный характер и могут быть решены при смене ценностных ориентаций и поведенческих паттернов общества;

3) эколлингвистический подход (А. Л. Назаренко, Н. Н. Кислицына), который акцентирует внимание на роли языка в формировании экологического мировоззрения. Язык является не просто отражением действительности, но и конструирует ее, а лексические единицы, которые мы используем в описании природы и города, во многом определяют наше отношение к ним;

4) концепция образования для устойчивого развития (А. Д. Урсул, А. Н. Захлебный) целевые ориентиры которой – формирование способности прогнозировать последствия своих действий, принимать ответственные решения и участвовать в решении экологических проблем.

В образовательном процессе данные концептуальные положения необходимо реализовать практически, с разработкой, апробацией и внедрением конкретных методических инструментов. Интеграция социально-экономических аспектов урбоэкологии в процесс преподавания английского языка требует не просто включения тематических текстов, лексических единиц по профильным темам, но и организации учебной деятельности таким образом, чтобы студенты могли проживать, осмысливать и анализировать реальные противоречия городской среды. Чтобы актуализировать все три компонента ЭС – когнитивный, эмоционально-ценностный и деятельностный – рассмотрим методы, которые открывают широкие возможности, например, интерактивные.

В МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ студенты 2-3 курсов обучения при изучении профессионального английского языка, в зависимости от их будущей специализации, работают по специально разработанным преподавателями кафедры лингвистических дисциплин пособиям. Данные пособия включают в себя ряд интерактивных методов, таких как работа с аутентичными материалами (инфографика, публикации СМИ, статистические отчеты, видеоматериалы по темам), ролевые игры, проектная деятельность, где студенты не ограничены рамками учебника и самостоятельно выбирают тему для защиты проекта, находят необходимую информацию, готовят презентацию и представляют вниманию одноклассников и преподавателей свои проекты. Такая работа с аутентичными научными текстами, инфографикой и видеоматериалами на английском языке позволяет студентам не только овладеть терминологическим аппаратом, но и сформировать целостное представление о глобальных и локальных экологических проблемах, а также о способах их решения, принятых в международной практике.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим конкретные примеры из практики преподавания, чтобы проиллюстрировать, как вышеперечисленные методы позволяют актуализировать компоненты ЭС в их единстве. Представленные ниже разработки были успешно апробированы в работе со студентами МГЭИ им. А. Д. Сахарова по специальности «Экология», в рамках курса «Профессиональный английский язык».

Пример 1. Работа с инфографикой: «Цена отходов: экономика переработки». Данный тип задания развивает когнитивный компонент ЭС и частично затрагивает ценностно-смысловую сферу студентов. Целью задания является формирование лексических навыков по теме «Waste management and circular economy», развитие умений аналитического чтения и интерпретации статистических данных. В ходе занятия активизируется следующая лексика: landfill tax (налог на захоронение), incineration (сжигание), recycling rate (доля перерабатываемых отходов), circular economy (циркулярная экономика), waste-to-energy plant (мусоросжигательный завод с выработкой энергии), environmental cost (экологические издержки), Extended Producer Responsibility (расширенная ответственность производителя). В ходе занятия студентам предлагается инфографика (например, из отчёта Eurostat или Всемирного банка «What a Waste»), на которой представлены данные о доле переработки, захоронения и сжигания отходов в разных странах Европы, а также указана стоимость каждого метода для муниципалитетов. Задание в парах: проанализировать инфографику и ответить на вопросы: Which country has the highest

recycling rate? What might be the economic reasons for this? Landfilling seems cheap at first glance. What “hidden costs” (groundwater pollution, methane emissions, loss of resources) are not included in the price? Далее студенты представляют выводы группе, используя целевую лексику и дискутируют все вместе о своей стране/городе Вопрос для дискуссии: If your city introduced a higher landfill tax, what would be the consequences for: a) local businesses, b) low-income families, c) recycling companies?

Такие задания позволяют студентам увидеть, что экологические проблемы имеют конкретное экономическое измерение, а выбор способа обращения с отходами является как вопросом экологической сознательности, так и вопросом бюджетной политики, социальной справедливости и долгосрочного планирования.

Пример 2. Проект «Зелёный бюджет для моего района». Проектная деятельность в наибольшей степени способствует реализации всех трёх компонентов ЭС, так как требует от студентов самостоятельного поиска информации, анализа, принятия решений и презентации результатов. Целью данного типа работы является развитие навыков проектной работы и публичной презентации, активизация лексики по темам «urban greening», «sustainable investment», «community development», побуждение к участию в решении локальных экологических проблем. В ходе работы над проектом активизируется следующая лексика: budget allocation (распределение бюджета), cost-effectiveness (экономическая эффективность), community impact (воздействие на сообщество), green infrastructure (зелёная инфраструктура), long-term benefit (долгосрочная выгода), stakeholder engagement (вовлечение заинтересованных сторон). Условия для работы над проектом: студенты (в группах по 3-4 человека или в парах) создают бизнес-проект для подачи на грант по реализации экологического проекта в своём районе (или на территории университета). Задание: выбрать одно мероприятие или комбинацию мероприятий, просчитать бюджет, подготовить презентацию проекта на английском языке (5-7 минут), обосновав выбор с экономической, экологической и социальной точек зрения (Презентация должна включать: описание проекта, обоснование выбора (почему именно это мероприятие наиболее эффективно), ожидаемые результаты, возможные риски), защитить проект перед «комиссией» (преподаватель и другие студенты), ответить на вопросы.

Данный проект активизирует профессиональную лексику, моделирует реальную ситуацию, в которой будущие специалисты (не только экологи, но и экономисты, менеджеры, городские планировщики) должны принимать ответственные решения с учётом ограниченных ресурсов и множества других критериев.

Следует отметить, что описанные примеры объединены общим принципом: они знакомят студентов с экологической лексикой, погружают их в контекст реальных городских противоречий, где экологические проблемы всегда имеют экономическую цену и социальные последствия. Именно это, на наш взгляд, позволяет преодолеть абстрактность экологического воспитания, о которой говорилось во введении, и наполнить его конкретным, практически значимым содержанием.

Заключение. В данной статье на теоретическом и практическом уровне показано, как английский язык может стать эффективным инструментом для осмысления студентами социально-экономических вызовов урбанизированных территорий. Опираясь на теоретические концептуальные положения, мы обосновали необходимость интеграции урбоэкологической тематики в содержание лингвистического образования.

Проведённая апробация интерактивных методов (работа с инфографикой, проектная деятельность) в МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ подтверждает, что такой подход способствует не только овладению профессиональной лексикой, но и формированию у студентов целостного экологического мировоззрения. Анализ статистических данных позволяет будущим специалистам увидеть за экологическими проблемами конкретные экономические механизмы, а про-

ектная деятельность даёт опыт самостоятельного принятия решений с учётом экологических, экономических и социальных факторов.

Таким образом, язык в современном образовательном пространстве не только средство коммуникации, но и инструмент формирования картины мира, в которой экологическая ответственность и понимание сложных взаимосвязей городской среды являются неотъемлемыми качествами профессионала любого профиля. Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть связаны с разработкой диагностического инструментария для оценки уровня сформированности экологического сознания у студентов экологического профиля, а также с созданием учебных пособий, интегрирующих урбоэкологическую тематику в содержание языкового образования на системной основе.

Библиографические ссылки

1. *Андреева Н. Д., Соломин В. П., Васильева Т. В.* Теория и методика обучения экологии: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 208 с.
2. *Гагарин А. В.* Развитие экологической компетентности личности в условиях экпсихологических взаимодействий будущих специалистов: опытно-экспериментальное исследование // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. 2010. №3. С. 66–73.
3. *Ермаков Д. С., Суравегина И. Т.* Экологическое образование: от изучения экологии – к решению экологических проблем. Новомосковск: НФ УРАО, 2005. 142 с.

ПОЗИТИВНОСТЬ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УГРОЗЫ В ФИЛОСОФИИ ОБЩЕСТВА ДОСТИЖЕНИЯ Б. Ч. ХАНА

Т. В. Бутрим¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, butrim@rhetoric.by

В статье предпринимается попытка расширения проблемного поля философии Бён-Чхоль Хана. Исходный тезис исследования заключается в том, что концепт «насилия позитивности», разработанный Ханом для критики социально-психологической динамики общества достижения, обладает значительным эвристическим потенциалом для анализа современных экологических проблем. Автор обосновывает, что императивы безграничной активности, оптимизации и преодоления границ, формирующие субъекта достижения, экстраполируются на отношение человека к природе. Это приводит к утрате способности к созерцанию и восприятию природы как «Другого», что усугубляет антропогенное давление на окружающую среду.

Ключевые слова: Бён-Чхоль Хан; общество достижения; позитивность; негативность; экологическая этика; субъект достижения; созерцание.

POSITIVITY AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL THREAT IN BYUNG-CHUL HAN'S PHILOSOPHY OF THE ACHIEVEMENT SOCIETY

T. V. Butrym¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, butrim@rhetoric.by

The article attempts to expand the problem field of Byung-Chul Han's philosophy. The initial thesis of the study is that the concept of "violence of positivity," developed by Han to critique the socio-psychological dynamics of the achievement society, possesses significant heuristic potential for analyzing contemporary environmental problems. The author argues that the imperatives of boundless activity, optimization, and the overcoming of boundaries, which shape the achievement subject, are extrapolated to the human relationship with nature. This leads to a loss of the capacity for contemplation and the perception of nature as the "Other," thereby exacerbating anthropogenic pressure on the environment.

Keywords: Byung-Chul Han; achievement society; positivity; negativity; environmental ethics; achievement subject; contemplation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-212-215>

Диагноз современности, поставленный Бён-Чхоль Ханом, обрел широкую популярность благодаря своей эвристической точности в описании психопатологий XXI века. Депрессия, синдром эмоционального выгорания, тревожность – все это интерпретируется философом как симптомы перехода от дисциплинарного общества к обществу достижения. Ключевым механизмом новой социальной парадигмы выступает «насилие позитивности» – избыток стимулов, возможностей и призывов «Я могу», который сменяет запретительную логику «Ты должен» [1, с. 14].

Однако до сих пор в исследовательской литературе концепция Хана преимущественно рассматривалась в антропологическом и социально-психологическом ключе [2, с. 117]. Вопрос о том, как логика позитивности трансформирует не только внутренний мир человека, но и его

отношение к внешней среде, к природе, остается недостаточно проработанным. Цель данной статьи – заполнить этот пробел и предложить интерпретацию философии общества достижения как продуктивной теоретической рамки для анализа экологических проблем современности. Мы исходим из гипотезы, что «позитивность» как модус существования субъекта достижения является скрытым, но крайне действенным фактором антропогенного экологического кризиса.

В своих работах, прежде всего в эссе «Общество усталости» и «Топология насилия», Хан фиксирует фундаментальный сдвиг в структуре власти. На смену негативному насилию, которое исходит от внешнего Другого (суверена, закона, запрета), приходит насилие позитивное, имплицитное. Оно не запрещает, а мотивирует, не подавляет, а высвобождает. Субъект общества достижения, которого Хан вслед за Фуко называет «предпринимателем самого себя», более не подчиняется внешней инстанции, но подчиняет себя сам [3, р. 46].

Такое самоограничение воспринимается им как свобода. Однако, как подчеркивает Хан, «исчезновение господства не означает свободы. Оно заставляет свободу и принуждение совпасть» [4, р. 11]. Субъект достижения добровольно эксплуатирует себя, подчиняясь императивам эффективности, оптимизации и продуктивности. Позитивность здесь означает отсутствие границ, запретов и негативного опыта сопротивления мира. Как отмечает сам философ, «сегодняшнее общество – это уже не дисциплинарное общество Фуко... Его место давно заняло совсем другое общество – общество из фитнес-студий, офисных высоток, банков, аэропортов, торговых центров и генетических лабораторий» [5, р. 8].

Мир предстает перед таким субъектом как бесконечное поле для приложения сил, как ресурс, лишенный собственной суверенности. Природа в этом контексте перестает быть угрожающей стихией или «Другим», с которым необходимо выстраивать диалог, и превращается в объект оптимизации и беспрерывного улучшения.

Антропоцентризм общества достижения парадоксальным образом усиливается до степени, когда человек не просто покоряет природу, а включает её в орбиту своего перманентного самоусовершенствования. В классической экологической этике, например, в трудах Олдо Леопольда или Арне Несса, антропоцентризм критиковался за инструментализацию природы, за то, что она ценна лишь постольку, поскольку полезна человеку. Хан позволяет увидеть следующий, более глубинный виток этой проблемы. На сегодняшний день природа ценна не просто как ресурс для выживания, а как ресурс для самооптимизации субъекта. Здоровье, как пишет Хан, становится «новой богиней», а «голая» жизнь – сакральной ценностью [4, р. 51]. Но эта сакрализация жизни не распространяется на жизнь природы как таковую, а лишь на биологическое существование субъекта, которое должно быть максимально долгим и качественным для новых достижений. Природа оказывается в двойном подчинении: во-первых, она должна обеспечивать достаточное количество сырья и энергии для функционирования различных сфер экономики, а во-вторых, она должна служить «пространством восстановления». Говоря о «пространстве восстановления» для выгоревшего субъекта достижения, мы имеем виду различные виды туризма, так называемый, «зеленый» фитнес, эко-терапию. В этом смысле позитивность выступает как механизм тотальной колонизации природы, полного подстраивания природы под нужды отдельного человека и всего общества в целом. Из природы исключается, даже «изгоняется» любая негативность, любая угроза, любая «инаковость», которая могла бы поставить под сомнение бесконечный рост человеческого потенциала, который зачастую провозглашается идеальной ролевой моделью для современного человека.

Природа становится «гладкой», дружелюбной, податливой, но лишенной собственного голоса, поверхностью – идеальным дополнением к миру, который состоит из того, что принято считать синонимом успешности, продуктивности, прогресса – засилье кирпичных, пластиковых и стеклянных фасадов, бесконечных бетонных домов и асфальтовых дорог. Именно здесь, по мнению Хана, кроется, скрытая от многих, экологическая угроза, коренящаяся не в злой

воле, а в самой структуре современного субъекта, для которого остановка и созерцание равносильны поражению.

Для понимания экологических импликаций философии Хана, ключевым является его апология негативности. Негативность в его системе координат – это не моральное зло, а онтологическая категория, обозначающая способность мира сопротивляться нашим проекциям и желаниям. Это опыт «Другого», границы, боль, препятствие. Негативность – условие подлинного опыта, который, в отличие от простого переживания, трансформирует субъекта [6].

В обществе достижения негативность планомерно устраняется. Технологии, прогресс в экономической сфере, социальные сети создают гладкую поверхность, на которой не должно оставаться шероховатостей. Природа как носитель негативности – как сила, напоминающая человеку о его конечности и границах, – вытесняется. Субъект достижения не готов иметь дело с природой, которая не отвечает на его запрос, которая требует пассивности и созерцания, а не активности и преобразования.

Именно здесь кроется, на наш взгляд, важнейший аспект. Экологический кризис – это кризис восприятия природы как «Другого». Как только природа утрачивает свою инаковость и превращается в материал для самооптимизации (например, через «зеленые» технологии, служащие не сохранению среды, а поддержанию текущего уровня потребления), исчезает сама возможность этического отношения к ней. Хан, размышляя о созерцании, обращается к Ницше и его тезису о том, что «благодаря недостатку покоя наша цивилизация переходит в новое варварство» [7, р. 29]. Это варварство проявляется и в экологической слепоте – неспособности остановиться, вслушаться, дать природе возможность быть не ресурсом, а целью и смыслом для каждого человека.

Особое внимание в философии Хана занимает идея о том, что многозадачность, которую современная культура ставит в заслугу человеку и транслирует как одно из самых комплементарных качеств современного человека, философ интерпретирует как регресс, как возвращение к состоянию дикого животного, вынужденного постоянно сканировать среду на предмет опасности [5, с. 28]. Человек общества достижения, нагруженный информацией и стимулами, утрачивает «глубокое внимание», необходимое для взаимодействия со сложными системами, каковой, несомненно, является экосистема. Его отношение к природе становится поверхностным и утилитарным.

Логику позитивности можно обнаружить и в современных подходах к решению экологических проблем. В ряде случаев современные рыночные механизмы представляют собой попытку решить проблему, не выходя из парадигмы общества достижения. Природа здесь окончательно превращается в капитал, в услугу, стоимость которой необходимо подсчитать, оптимизировать, трансформировать. Это не снятие насилия над природой, а своего рода его изощренная форма. Как пишет Хан, «люди, которые освещают себя полностью, отдаются эксплуатации. Освещение – это эксплуатация» [8, р. 48]. Применительно к природе это означает, что её тотальная прозрачность и исчислимость (учет всех ресурсов, секвестрационный потенциал и т.д.) лишь усугубляют возможность её эксплуатации.

Еще одно понятие, которое рассматривается Ханом, и которое мы интерпретируем в контексте экосистемы, это паллиативное общество. Паллиативное общество по Хану – это общество, которое не обладает способностью справляться с болью и стремится устранить любой негативный опыт [9]. Это, так называемое, общество анестезии. Экологическая тревога и страх перед катастрофой в таком обществе снимаются не реальными действиями, меняющими парадигму развития, а паллиативами – технологическими утешениями, обещаниями «устойчивого роста». Проблема, однако, в том, что экологический кризис требует именно негативного опыта – признания пределов, самоограничения, аскезы и готовности к «не-действию», что является прямой противоположностью концепции общества достижения.

Философия Хана, будучи сфокусированной на критике субъективности позднего модерна, открывает неожиданные перспективы для экологической мысли. Введение концепта «насилия позитивности» в дискурс экологической этики позволяет увидеть глубинные механизмы антропогенного давления. Экологическая угроза коренится не только в технологиях и индустриальном росте, но и в самой структуре субъекта достижения, для которого мир представляет собой поле для бесконечной оптимизации, лишённое негативного сопротивления.

Исцеление от экологического кризиса, если следовать логике Хана, невозможно без терапии самого общества достижения. Необходимо вернуть человеку способность к негативности – умению сказать «нет» бесконечной гонке производства и потребления, умению созерцать и признавать природу как суверенного «Другого», а не как объект для самопрезентации и самооптимизации. «Глубокая скука» и «праздность», которые Хан, вслед за мыслителями прошлого, называет условиями подлинной культуры, могут стать и условиями новой экологической парадигмы, основанного не на господстве, а на внимании, созерцании и бережном отношении к природе.

Библиографические ссылки

1. Хан Б. Ч. Общество усталости. Негативный опыт в эпоху чрезмерного позитива / пер. с нем. А. С. Салина. М.: АСТ, 2023. 160 с.
2. Казанцева В. А. «Общество усталости» Бён-Чхоль Хана // Вестник Челябинского государственного университета. 2024. № 9 (491). С. 116-119. DOI: 10.47475/1994-2796-2024-491-9-116-119.
3. Han B. C. The Agony of Eros / transl. by E. Butler // Cambridge, MA: MIT Press, 2017. 80 p.
4. Han B. C. The Burnout Society / transl. by E. Butler // Stanford: Stanford University Press, 2015. 68 p.
5. Хан Б. Ч. Топология насилия. Критика общества позитивности позднего модерна / пер. с нем. С. Мухамеджанова. М.: АСТ, 2024. 128 с.
6. Han B. C. The Palliative Society: Pain Today / transl. by D. Steuer // Cambridge: Polity Press, 2021. 50 p.
7. Han B. C. The Scent of Time: A Philosophical Essay on the Art of Lingerin / transl. by D. Steuer // Cambridge: Polity Press, 2017. 120 p.
8. Han B. C. The Transparency Society / transl. by E. Butler // Stanford: Stanford University Press, 2015. 60 p.
9. Martins A. Caring for the common home and calling for a diverse future: Pope Francis and Byung-Chul Han in dialog / Religions. 2023. Vol. 14, № 11. P. 1396. DOI: 10.3390/rel14111396.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ БИЗНЕС КАК КЛЮЧЕВОЙ ПРИОРИТЕТ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ (НА ПРИМЕРЕ КНР И РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ)

С. Г. Голубев¹⁾, С. И. Пупликов²⁾, Ф. Цзин Цзин²⁾, Ч. Юмэнь²⁾

¹⁾ ГНУ «Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси, ул. Академическая 1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, dekan402@gmail.com

Сегодня в мире «зеленое» развитие, экологический бизнес рассматриваются не иначе как императив. Большинство государств планеты серьезно трансформировало свою экологическую политику, которая в настоящее время выступает не как своеобразная нагрузка на экономику, а как активный драйвер социально-экономического роста. И в этом плане Китайская Народная Республика и Республика Беларусь не являются исключением.

Ключевые слова: инновации; экологический бизнес; зеленая экономика; финансовые ресурсы; инновационная система; инновационные технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве; переработка полимерных отходов.

ENVIRONMENTAL BUSINESS AS A KEY PRIORITY OF THE CIRCULAR ECONOMY (ON THE EXAMPLE OF CHINA AND THE REPUBLIC OF BELARUS)

S. G. Golubey¹⁾, S. I. Puplikov²⁾, F. Jing Jing²⁾, Ch. Yumen²⁾

¹⁾ GNU "Center for System Analysis and Strategic Studies of the National Academy of Sciences of Belarus, 1 Akademicheskaya str., 220070, Minsk, Belarus

²⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, dekan402@gmail.com

Today, in the world "green" development and environmental business are considered nothing less than an imperative. Most countries of the planet have seriously transformed their environmental policies, which currently act not as a kind of burden on the economy, but as an active driver of socio-economic growth. And in this regard, the People's Republic of China and the Republic of Belarus are no exception.

Keywords: innovation; environmental business; green economy; financial resources; innovation system; innovative technologies in housing and communal services; polymer waste recycling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-216-219>

Введение. Проблемы охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, а в конечном итоге «зеленого» развития, приобрели глобальный характер. Окружающая нас природа и ее ресурсы выступают естественной основой жизнедеятельности и развития человеческого общества, являются источником роста благосостояния его членов, а также накопления материальных и культурных ценностей. Однако, в последнее время современный мир подвергается постоянно возрастающей антропогенной нагрузке.

Сегодня в мире «зеленое» развитие, экологический бизнес рассматриваются не иначе как императив. Большинство государств планеты серьезно трансформировало свою экологическую политику, которая в настоящее время выступает не как своеобразная нагрузка на экономику, а как активный драйвер социально-экономического роста. И в этом плане Китайская Народная Республика и Республика Беларусь не являются исключением [1].

Основная часть. Цели и важнейшие приоритеты развития «зеленой» экономики, экологического бизнеса в Китайской Народной Республике и Республике Беларусь определяются 14-ым пятилетним планом развития «зеленой» промышленности в КНР и Национальным планом действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021-2025 годы [2; 3].

Концептуально важно определить в рамках реализации научного обеспечения перехода к «зеленой» экономике следующую теоретическую и методологическую дефиницию понятия «зеленая» экономика. «Зеленая» экономика функционирует и реализуется через совокупность последовательных экологических бизнес-моделей. При этом, совокупность экологических бизнес-моделей концентрируется, приобретает законченную (теоретическую, методологическую и практическую) организационно-эколого-экономическую форму, выраженную в экологическом бизнесе.

Китай интенсивно развивает собственную «зеленую» экономику, стратегической целью которой является создание экологически и социально здоровой среды обитания человека. При этом, к 2060 году Поднебесная обязуется достичь т.н. углеродной нейтральности. В свою очередь в Беларуси «зеленое» развитие имеет своей целью в экономической сфере – устойчивый рост, основанный на инновациях, в социальной – улучшение качества жизни граждан республики, а в экологической – снижение нагрузки на окружающую среду и повышение эффективности использования природного капитала. Результатом реализации указанных целей в наших двух странах должно стать обеспечение социально-экономической динамики в условиях сохранения природного капитала и повышения занятости населения и, как следствие этого, достижение Целей устойчивого развития, содержащихся в резолюции Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций от 25 сентября 2015 года № 70/1 «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», а также гармонизация экологических, экономических и социальных интересов китайского и белорусского социума.

В обоих государствах активно формируется нормативная правовая база «зеленого» развития. Так, в преддверии прошедшей в конце октября – начале ноября 2021 г. в Шотландии конференции ООН по климату, Поднебесная обозначила национальную стратегию борьбы с глобальным потеплением. Были опубликованы сразу три профильных документа: «Белая книга о реакции на изменение климата», «Дорожная карта по прохождению пика эмиссий углерода к 2030 году» и «Руководство по достижению углеродной нейтральности к 2060 году» [4; 5]. В указанных материалах отмечается, что Китай отказался от предыдущей модели развития в ущерб экологии и в настоящее время стремится к балансу между интересами развития и снижением эмиссии углерода, привержен «зеленому» развитию и построению экологического общества. Задачи по снижению эмиссии углерода, повышению энергобережения и энергоэффективности будут отражены в национальном законодательстве и планах развития страны. Из всех китайских нормативных правовых актов вычеркиваются пункты, противоречащие установкам снижения углеродного следа и достижения углеродной нейтральности. Стандарты низкоуглеродной динамики уже закрепляются в региональных стратегиях, а также в планах развития энергетической, транспортной, металлургической, строительной, нефтехимической и других отраслей народного хозяйства. Подтверждена политическая установка на жесткое сдерживание неконтролируемой экспансии энергоемких проектов с высоким уровнем эмиссий. Повышены обязательные стандарты энергоэффективности для производимого оборудования и бытовой техники. В свою очередь, нормативная правовая база «зеленого» развития в Республике Беларусь формируется вокруг указанного выше Национального плана действий.

Ключевым аспектом зеленой повестки развития национальной экономики Республики Беларусь является рециклинг полимерных отходов. Вопросы изучения утилизации полимерных отходов исследуются в Республике Беларусь. Так в Институте Жилищно-коммунального хо-

зайства НАН Беларуси в 2018 году выполнена тема НИР «Исследование морфологического состава полимерных отходов в составе твердых коммунальных отходов и подготовка предложений по их вторичному использованию» (Научный руководитель канд. экон. наук, доц. С. И. Пупликов,). В течение 2019-2025 г.г. эта тема является сферой научных интересов кафедры экономики и управления инновационными проектами в промышленности БНТУ, кафедры социально- гуманитарных наук и устойчивого развития МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. Проведен сбор, анализ и обобщение информации об объемах образования в Республике Беларусь полимерных отходов, входящих в состав ТКО, по видам.

В ходе исследования решены задачи.

Проведен анализ объемов образования в Республике Беларусь пластмасс на основании данных об их производстве, экспорте и импорте (кроме каучука и резиновых изделий) за 2016-25 годы по видам.

Осуществлена оценка потенциальных объемов образования в Республике Беларусь отходов полимеров по видам в целом и в составе коммунальных отходов.

Собраны и обработаны данные об использовании полимерной упаковки по видам при производстве основных потребительских товаров, в том числе в расчете на единицу.

Определен фактический морфологический состав полимерных отходов в ТКО в городах с различной степенью благоустройства жилищного фонда по результатам замеров (сезон «лето»). Менеджмент проектами и стоимостной инжиниринг в сфере сбора и переработки полимерных отходов должен учитывать следующие факторы, выявленные в ходе проведенного исследования.

Определен морфологический состав отходов полимеров по сложности и стоимости утилизации, (полимерные отходы разделены на три группы полимеров – чистые отходы производства, отходы средней сложности и трудно утилизированные отходы):

– чистые отходы производства (литники, обрезки, брак) и условно чистые отходы потребления, получаемые в местах, где сбор и сортировка или отлажены, или не требуются (медицинские одноразовые изделия и системы, пленка, пластмассовые ящики, ПЭТ-бутылки).

Установлено, что их переработка сопровождается высокой рентабельностью. Доля таких полимерных отходов от общего количества составляет 5-12 %, а степень использования – 70-90 %;

– средней сложности – это те же виды отходов производства и потребления, содержащие допустимое количество загрязнений, а также отходы от пищевых производств. Сбор и переработка таких отходов связана с издержками по сортировке, мойке и использованием более сложного оборудования по переработке и производству изделий. Отмечено, что их использование может быть рентабельным, при подборе оптимального метода переработки. Их количество от общей массы полимерных отходов составляет 10-25 %, а используются они на 20-30 %;

– трудно утилизируемые отходы – это сильно загрязненные и смешанные отходы производства и потребления, отходы из композиционных материалов, детали бытовой и автомобильной техники.

Для трудно утилизируемых отходов покрытие издержек предполагает внешние финансовые ресурсы (налоговые льготы, целевые вложения, субсидии). Процент таких полимерных отходов от общего количества равен 60-85 %, а степень переработки (кроме захоронения) составляет лишь 3 %.

Сделаны промежуточные выводы по полученным данным и результатам проведенного анализа и формирование с достаточной степенью достоверности сводных данных об объемах отходов полимеров в составе ТКО. В ходе исследования выявлены проблемы, возникающие при идентификации и сортировке отходов, основываясь на опыте работы по определению марок и видов полимеров при выезде на полигоны.

Заключение. Необходимо развивать следующие направления белорусско-китайского сотрудничества в сфере «зеленого» развития. Республике Беларусь в вопросах «зеленого» финансирования будет полезен опыт Поднебесной по привлечению частных инвестиций, в том числе на принципах государственно-частного партнерства, включая рециклинг полимерных отходов. В этом же плане неocenимы двусторонние белорусско-китайские научные контакты в рамках методологического и методического обеспечения «зеленого» финансирования в соответствии с принятыми международными нормами, включая обоснование таксономии «зеленых» проектов с учетом национальных приоритетов развития, разработку стандартов оценки экологических рисков инвестиционных проектов и экологического аудита «зеленых» финансовых инструментов, определение действенных мер государственной поддержки «зеленого» финансирования и другое. Еще одной сферой двустороннего белорусско-китайского сотрудничества в сфере «зеленого» развития могла бы стать передача белорусской стороне китайского опыта создания системы поддержки снижения углеродного следа. Напомним, что важным шагом в этом направлении стал запуск в середине 2021 года китайской общенациональной системы торгов углеродными квотами. Данные торги представляют собой попытку перераспределения права на эмиссию углекислого газа от предприятий, выбросы которых находятся ниже установленного государством потолка, к компаниям, которые выходят за максимально допустимые нормы выброса.

Библиографические ссылки

1. 关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见 (Мнения по совершенствованию институциональных механизмов и политических мер для перехода к «зеленой» и низкоуглеродной энергетике): извещение [2022] № 206 от Государственного управления по делам энергетике, 30 января 2022 г. // Государственный комитет по развитию и реформам КНР. URL: https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202202/t20220210_1314511.html?code=&state=123. (дата обращения: 01.16.2024).
2. О Национальном плане действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 10 декабря 2021 г., № 710 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/2021/nats.plan-po-razvitiju-zelenoj-ekonomiki.pdf>. (дата обращения: 16.01.2024).
3. 能源消费总量及构成 (Общее потребление энергии и состав): Китайский статистический ежегодник 2021, сентябрь 2021 г. // Государственное статистическое управление КНР. – Пекин: Статистическое изд. Китая, 2021. С.288. URL: <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202105/P020210526572756184785.pdf> (дата обращения: 01.01.2024).
4. Пупликов С. И. Ключевые элементы поведенческой экономики Союзного государства Республики Беларусь и Российской Федерации (Валютный аспект) // Детерминанты развития малого и среднего предпринимательства, материалы Международной науч.-практ.конф., , Минска 27–28 мая 2023 г. / Учреждение образования «Институт предпринимательской деятельности». Минск, 2023. С. 58.
5. Голубев С. Г., Пупликов С. И., Цзяньбо Чэнь Турыстычная сфера Кітайскай Народнай Рэспублікі: тэндэнцыі пасляпандэміянага развіцця // Перспективы развития туризма в современных условиях: мировые тенденции и региональные контексты, материалы III Международной науч.-практ.конф., , Минска 28 сентября 2023 г. / Министерство спорта и туризма РБ экономики РБ. Минск, 2023. С. 24–27.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Е. Н. Казимирская¹⁾, А. В. Лихачева¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь, kazimirskaaekaterina@gmail.com

Захоронение мелкодисперсных железосодержащих отходов производства наносит урон, условно говоря, трем сферам: состоянию экологических систем, хозяйственным объектам и здоровью людей. Исходя из этого, различают три вида ущерба: экологический, экономический и социальный. Поиск способов повторного использования данных отходов способствует решению социально-экономических проблем, вызванных загрязнением окружающей среды в результате размещения данных отходов на полигонах и производственных площадках предприятий.

Ключевые слова: социально-экономический ущерб; железосодержащие отходы; загрязнение окружающей среды; переработка; магнитные сорбенты.

SOCIO-ECONOMIC ASPECTS OF REUSE OF FINE-DISPERSE IRON-CONTAINING WASTE

E. N. Kazimirskaya¹⁾, A. V. Likhacheva¹⁾

¹⁾ Belarusian State Technological University, 13a Sverdlova Street, 220006, Minsk, Belarus, kazimirskaaekaterina@gmail.com

The disposal of fine-grained iron-containing production waste causes damage to three areas: the state of ecological systems, economic facilities, and human health. Based on this, there are three types of damage: environmental, economic, and social. Finding ways to reuse these waste materials helps address the socio-economic challenges caused by environmental pollution resulting from the disposal of these waste materials at landfills and industrial sites.

Keywords: socio-economic damage; iron-containing waste; environmental pollution; recycling; magnetic sorbents.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-220-223>

Хранение и/или захоронение мелкодисперсных железосодержащих отходов производства (МЖСО) представляет ряд экологических и экономических проблем, связанных с загрязнением окружающей природной среды и тратой ценных ресурсов соответственно.

Загрязнение окружающей среды обусловлено миграцией тяжелых металлов, входящих в состав МЖСО, в почву, подземные воды, продукты питания. В свою очередь данное обстоятельство негативно сказывается на качестве жизни и здоровье живых организмов в целом, и человека в частности.

Экономическая составляющая обусловлена потерей ценных компонентов, входящих в состав захораниваемых отходов. Данные компоненты могут быть использованы для получения ряда продуктов, востребованных в различных секторах экономики [1].

Разработка способов повторного использования МЖСО, способствующих их вовлечению в производственный цикл, обеспечивает устойчивое развитие общества и соблюдение ESG-принципов организации производственной деятельности.

Целью работы являлась оценка социально-экономических факторов использования МЖСО как сырья при получении магнитного сорбента, используемого в процессах водоподготовки и очистки сточных вод.

Экологический ущерб характеризуется нарушениями, возникающими в природных системах. Неблагоприятные последствия для них могут наступить даже при незначительных отклонениях от оптимального состояния, а при достижении критического уровня происходят необратимые изменения в экосистемах [2].

Под экономическим ущербом обычно понимают выраженные в денежной форме фактические или возможные потери народного хозяйства, обусловленные ухудшением экологической ситуации в результате антропогенной деятельности [2].

Социальный ущерб – это ущерб, наносимый, прежде всего здоровью людей в результате загрязнения воздуха, продуктов питания, питьевой воды, шумом и т.п. Все это ведет к росту заболеваемости людей, сокращению продолжительности жизни, ухудшению условий труда и отдыха населения и жизнедеятельности в целом [2].

В отношении субъекта хозяйственной деятельности оценка экологического ущерба осуществляется в соответствии с Главой 21 Налогового кодекса Республики Беларусь. Расчет экологического налога представляет собой произведение налоговой базы и налоговой ставки. За налоговую базу принимается фактическое количество выбросов, сбросов и отходов, поступающих в окружающую среду. Ставки налога установлены в белорусских рублях по каждому объекту налогообложения в приложениях 7–9 к Налоговому кодексу.

При проведении природоохранных мероприятий (ПОМ) предприятие может не только уменьшить отрицательное воздействие своей производственной деятельности на окружающую среду, но и повысить экономическую эффективность деятельности, что напрямую влияет на конкурентоспособность.

Экономическая эффективность затрат на ПОМ означает их результативность, то есть соотношение между результатами и обеспечившими их затратами.

В Республике Беларусь экономическая оценка эффективности внедрения природоохранных мероприятий осуществляется согласно ЭкоНиП 17.01.06-002-2019 «Охрана окружающей среды и природопользование. Экономическая оценка внедрения природоохранных мероприятий» [3].

Экономическая оценка на основе анализа затрат и выгод вариантов внедрения природоохранного мероприятия выполняется по разнице затрат и выгод, оцениваемой по рассматриваемому варианту природоохранного мероприятия относительно варианта без учета реализации инвестиционного проекта.

Для экономической оценки природоохранных мероприятий осуществляется расчет следующих основных показателей эффективности:

- 1) показатель чистой приведенной стоимости природоохранного мероприятия (ЧПС);
- 2) показатель внутренней нормы доходности природоохранного мероприятия (ВНД);
- 3) показатель соотношения выгод и затрат по природоохранному мероприятию (ВЗС).

Показатель чистой приведенной стоимости природоохранного мероприятия (ЧПС) характеризует величину прогнозируемого эффекта в виде дополнительного прироста чистого дохода субъекта оценки, превышающего доход, исчисленный по принятой норме дисконта, приведенную к моменту начала реализации природоохранного мероприятия (в рублях).

Показатель внутренней нормы доходности природоохранного мероприятия (ВНД) характеризует среднегодовую рентабельность затрат на реализацию природоохранного мероприятия с точки зрения субъекта оценки, исчисленную по приросту его чистого дохода, %.

Показатель соотношения выгод и затрат по природоохранному мероприятию (ВЗС) показывает, во сколько раз прирост чистого дохода субъекта оценки в результате реализации природоохранного мероприятия превышает величину нормального дохода, исчисляемую по принятой норме дисконта и характеризующую для субъекта хозяйствования, реализующего инвестиционный проект – величину дохода, которая могла бы быть получена при выборе альтернативных вариантов инвестиций.

Критерий экономической эффективности природоохранного мероприятия рассчитывали по следующей формуле:

$$ЧПС = \sum_{t=1}^n \frac{P_t - Z_t}{(1 + E/100)^t}$$

где P_t – результаты от реализации природоохранного мероприятия в t -ом году представляют собой сумму стоимостных оценок прямых и косвенных выгод субъекта оценки, тыс. руб.; Z_t – совокупные расходы на охрану окружающей среды в t -ом году в связи с реализацией природоохранного мероприятия, тыс. руб.; E – ставка дисконтирования (норма дисконта), принимаемая в зависимости от субъекта оценки, %; t – период (год) реализации проекта; n – горизонт расчета.

При оценке природоохранных мероприятий исходя из интересов субъекта хозяйствования, реализующего инвестиционный проект, результаты P_t определяются как сумма стоимостных оценок прямых и косвенных выгод данного субъекта хозяйствования и рассчитываются по формуле:

$$P_t^{II} = (H_t^{Баз} - H_t^M) + (Z_t^{Баз} - Z_t^M) + (D_t^M - D_t^{Баз})$$

где P_t^{II} – результат для субъекта хозяйствования, реализующего инвестиционный проект, от реализации природоохранного мероприятия в t -ом году в виде интегральной стоимостной оценки его выгод, тыс. руб.; $H_t^{Баз}$ и H_t^M – экологические налоги и платежи в t -ом году, которые должны быть выплачены субъектом хозяйствования, реализующим инвестиционный проект, исходя из планируемых объемов загрязнения окружающей среды без учета и с учетом реализации природоохранного мероприятия соответственно, тыс. руб.; $Z_t^{Баз}$ и Z_t^M – затраты на производство и реализацию продуктов, товаров, работ и услуг субъекта хозяйствования, реализующего инвестиционный проект в t -ом году без учета и с учетом реализации природоохранного мероприятия соответственно, тыс. руб.; $D_t^{Баз}$ и D_t^M – дополнительный доход от реализации продуктов, товаров, работ и услуг субъекта хозяйствования, реализующего инвестиционный проект в t -ом году без учета и с учетом реализации природоохранного мероприятия, соответственно, тыс. руб.

Коммерческая норма дисконта E_K для оценки эффективности ПОМ исходя из интересов субъекта хозяйствования, реализующего инвестиционный проект, принимается на уровне ставки долгосрочного банковского кредитования R_{Kp} , очищенной от инфляционной составляющей, и рассчитывается по формуле:

$$E_K = \left(\frac{1 + R_{Kp} / 100}{I_{ц} / 100} - 1 \right) \times 100$$

где R_{Kp} – средняя процентная ставка по новым кредитам банков в национальной валюте, выданным юридическим лицам на срок свыше 1 года, по данным Национального банка Республики Беларусь, %; $I_{ц}$ – индекс потребительских цен, %.

Показатель внутренней нормы доходности природоохранного мероприятия (ВНД, %) характеризует среднегодовую рентабельность затрат на реализацию ПОМ с точки зрения субъекта оценки, исчисленную по приросту его чистого дохода.

Критерием экономической эффективности ПОМ является значение ВНД больше либо равное норме дисконта E .

Критерий экономической эффективности природоохранного мероприятия к значению ВНД рассчитывается путем подбора значения ВНД, обеспечивающего равенство по формуле:

$$\sum_{t=1}^n \frac{P_t - Z_t}{(1 + \text{ВНД}_{\text{пр}}/100)^t} = 0$$

Критерием экономической эффективности природоохранного мероприятия является значение ВЗС больше либо равное единице и рассчитывается по формуле:

$$\text{ВЗС} = \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1 + E/100)^t} / \sum_{t=1}^n \frac{Z_t}{(1 + E/100)^t}$$

Оценку экономической эффективности осуществляли относительно ПОМ, заключающегося в использовании МЖСО (окалина) в качестве сырья для получения магнитных сорбентов. В работе сорбенты получали методом химического соосаждения Массара, который был модифицирован, в связи с получением магнитного сорбента (МС) путем химического соосаждения ионов Fe (II, III), предварительно извлеченных из железной окалина. При расчете учитывали следующие исходные данные:

- количество окалина до внедрения ПОМ – 256 т/год;
 - количество окалина после внедрения ПОМ – 87,58 т/год;
 - количество получаемого магнитного сорбента – 168,42 т/год;
 - количество сульфата калия, образующегося в результате реализации ПОМ – 6754,65 т/год;
- Расчет показателей экономической эффективности представлены в таблице.

Значения показателей экономической эффективности

Показатель	Значение для субъекта хозяйствования
ЧПС, тыс.руб.	6956,48
$P_t^И$, тыс. руб.	7825,46
$E_{\text{к}}$, %	10,14
ВНД, %	24,2
ВЗС	47,86

Рассчитанные данные свидетельствуют о наличии экономического эффекта, достигаемого при внедрении технологии повторного использования мелкодисперсных железосодержащих отходов (окалина) на предприятии, в производственном цикле которого образуется данный отход.

Предлагаемое мероприятие обладает коммерческой, экологической и социальной составляющей: обеспечивает сокращение объема отхода производства (окалина), вывозимого на захоронение на полигоны; способствует уменьшению потерь экономики в результате реализации продукции – магнитных сорбентов, сульфата калия, а также в результате снижения выплат экологического налога.

Библиографические ссылки

1. Казимирская Е. Н., Лихачева А. В. Использование мелкодисперсных железосодержащих отходов производства в качестве сырьевых материалов // Природопользование. 2025. № 1. С. 203–213.
2. Шимова О. С., Соколовский Н. К. Основы экологии и экономика природопользования: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Мн.: БГЭУ, 2002.
3. Экологические нормы и правила. ЭкоНиП 17.01.06-002-2019 «Охрана окружающей среды и природопользования. Экономическая оценка внедрения природоохранных мероприятий». URL / Режим доступа: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2023/11/17.01.06-002-2019-1.pdf>

СПОСОБ РЕАБИЛИТАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Л. А. Кириченко¹⁾, А. А. Волчек¹⁾

¹⁾ Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267,
224017, г. Брест, Беларусь, lakobrinctch@mail.ru

На современном этапе снижение загрязнений природных водных объектов ограничивается физико-химической и биохимической очисткой сточных вод. Альтернативных, щадящих для окружающей среды способов очистки и реабилитации загрязненных поверхностных водных объектов очень мало. Цель исследования – разработка способа реабилитации экологического состояния водных объектов урбанизированных территорий с помощью биоценоза организмов образующихся на секциях плавающих биоплато. Оценка эффективности очистки загрязненных водных объектов проводилась стандартными методами, принятыми в гидрохимии. Результаты исследований очистки недоочищенной сточной воды опытным образцом плавающего биоплато показали, что эффективная очистка загрязненной воды наблюдается уже через 35 суток экспозиции, а через 56 дней достигаются нормативные показатели. Таким образом, разработанные плавающие секционные растительные биоплато можно применять с качестве альтернативного способа для доочистки предварительно очищенных сточных вод а так же для реабилитации загрязненных и эвтрофированных водных объектов.

Ключевые слова: водные объекты урбанизированных территорий; реабилитация водных объектов; экологическое состояние.

A METHOD FOR REHABILITATION OF THE ENVIRONMENTAL STATE OF WATER BODIES IN URBANIZED TERRITORIES

L. A. Kirichenko¹⁾, A. A. Volchak¹⁾

¹⁾ Brest State Technical University, Moskovskaya St., 267,
224017, Brest, Belarus, lakobrinctch@mail.ru

Currently, reducing pollution of the natural water bodies is limited to physicochemical and biochemical wastewater treatment. There are very few environmentally friendly alternative methods for cleaning and rehabilitating polluted surface water bodies. The objective of this study was to develop a method for rehabilitating the ecological state of water bodies in urbanized areas using a biocenosis of organisms formed in sections of floating bioplateaus. The effectiveness of the treatment of polluted water bodies was assessed using standard methods adopted in hydrochemistry. Results of studies of the treatment of partially treated wastewater using a prototype floating bioplateau showed that effective treatment of polluted water was observed after 35 days of exposure, and nutrient indicators were achieved after 56 days. Therefore, the developed floating sectional planted bioplateaus can be used as an alternative method for the additional treatment of pre-treated wastewater and for the rehabilitation of polluted and eutrophicated water bodies.

Keywords: water bodies of urbanized territories; rehabilitation of water bodies; environmental state.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-224-228>

На современном этапе общество акцентирует свое внимание на экологическом состоянии и загрязнении окружающей среды. Особенно остро стоит вопрос о состоянии и загрязнение водных объектов, так как загрязненные водные объекты являются источником токсических веществ и заболеваний различного характера. Загрязнение водных объектов происходит в результате антропогенной деятельности, т.е. при сбросе в них хозяйственно-бытовых и промыш-

ленных сточных вод, ливневых вод, сточных и грунтовых вод санкционированных и несанкционированных свалок и др. Следствием загрязнения подземных и поверхностных материковых вод служит уменьшение источников пресной воды. Поэтому назревает необходимость предусмотреть меры по реабилитации загрязненных водных объектов. В основном распространены кардинальные методы снижения загрязнений воды, сводящиеся к физико-химической или биохимической очистке сточных вод, сбрасываемых в водные объекты. Альтернативных, щадящих способов реабилитации загрязненных поверхностных водных объектов известно единицы. Такие способы основаны на формировании естественных биоценозов на основе создаваемых плавающих платформ – биоплато.

Таким образом, целью исследования является разработка способа реабилитации экологического состояния водных объектов урбанизированных территорий с помощью биоценоза организмов образующихся на секциях плавающих биоплато.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- 1) исследовать известные способы реабилитации водных объектов с помощью плавающих биологических платформ;
- 2) разработать аналогичную модель плавающего биоплато для климатических условий Республики Беларусь;
- 3) модернизировать создание плавучести платформы с учетом минимального воздействия на окружающую среду;
- 4) создать опытный образец и испытать его в лабораторных условиях.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись существующие отечественные и зарубежные модели, патенты и авторские свидетельства плавающих биологических платформ. В плавающих платформах биоплато создана модель природных плавающих водно-болотных островов, характерных для естественных ландшафтов. Рассмотрены различные конструкции плавающих биоплатформ: как простые плавающие маты, так и многоярусные приспособления различных геометрических форм [1–10].

В качестве модельной сточной воды для оценки эффективности работы опытного образца использовали сточную воду ливневой канализации, прошедшей очистку через биологический пруд.

Оценку степени очистки воды проводили на базе Брестского государственного технического университета стандартными методами по следующим гидрохимическим показателям: мутность, биогенные элементы (азот и фосфор), тяжелые металлы (железо, медь), хлориды, сульфаты, органические вещества по ХПК и БПК, а также анионактивные СПАВ.

Результаты и обсуждения. На основании известных способов, патентов и авторских свидетельств нами была разработана опытная модель плавающей секционной биологической платформы, схема каркаса которой изображена на рис. 1 [11]. Основу каркаса 1 рис. 1 такой платформы составляет прямоугольная рама из полых полиэтиленовых труб 2, концы которых заглушены. Для прочного и жесткого соединения труб применялись переходники (фитинги) и термическая контактная сварка (рис. 2). Сверху на трубчатую раму прикреплена пластиковая решетка 4 с размерами ячеек 1,0–1,5 мм. Регулирование высоты вертикального положения секций плавающей платформы в природном водном источнике осуществляется с помощью троса 5 и грузового якоря 6.

Полая трубчатая рама играет роль поплавков. Для этого в трубы через воздухозаборные патрубки 3, расположенные сверху, с помощью шлангов соединенных с компрессором нагнетается сжатый воздух. Такая конструкция трубчатой рамы разработана с целью предотвращения разгерметизации и достижения плавающей способности каркаса с биологической нагрузкой. В известных ранее конструкциях в качестве поплавков использовались различные полимеры: полистирольные плиты, вспененный полиэтилен морского класса, отработанные автомобильные шины и т.д., которые загрязняют водные объекты микропластиком и токсич-

ными продуктами разложения. Применение полой трубчатой поплавковой рамы, устойчивой к внешним воздействиям, повышает экологичность конструкции. Прямоугольная форма дает возможность максимально покрывать водную поверхность секциями биоплато.

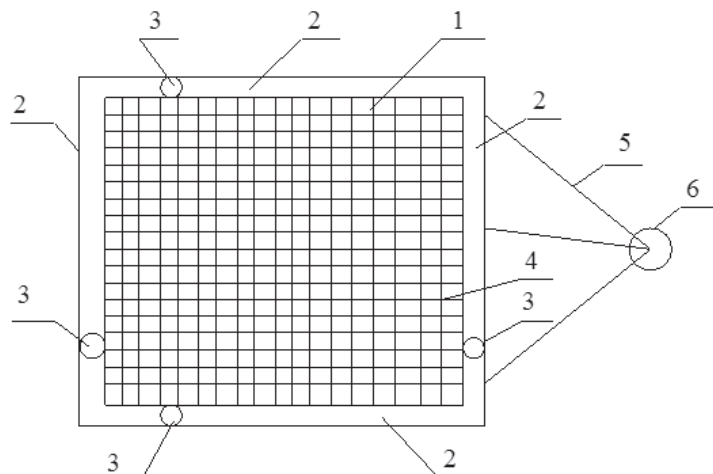


Рис. 1. Каркас прямоугольной замкнутой полиэтиленовой трубчатой поплавковой рамы: 1 – каркас плавающей платформы; 2 – трубчатая рама; 3 – воздухозаборные патрубки; 4 – пластиковая решетка; 5 – трос; 6 – якорь [11]



Рис. 2. Соединение переходниками трубчатой рамы

На пластмассовую решетку укладывается слой биологической загрузки на водонепроницаемом полотне из геотекстиля, которая выращена заранее на стендовых столах. Биологическая загрузка представляет собой растительную дернину из злаковых культур, устойчивых к экстремальным условиям: *Elytrigia repens* L., *Festusa rubra* L., *Lolium perenne* L. и *Phleum pratense* L., взятых в соотношении 1:2:1:2. Для повышения очищающей способности в растительную дернину высажены аборигенные виды высших водных и околоводных растений. Выращивание заранее растительной дернины дает возможность быстро адаптировать искусственно созданный биоценоз к естественным условиям и ускоряет адсорбцию и очищение загрязняющих веществ в воде. Разработанные ранее разновидности биологических загрузок не всегда эффективны. Выращивание биологической загрузки гидропонным методом образует не очень плотную растительную дернину, которая сбивается в комки колебаниями волн. Посев семян весной при низких температурах в переувлажнённой среде может привести к плохой всхожести семян, загниванию посевов и корневищ и т. д. Это приводит к слабому формированию растительной дернины. С целью повышения всхожести семена предварительно обрабатываются ростостимулирующим и противогрибковым раствором, например «Байкал ЭМ-1».

Исходя из вышесказанного, нами был спроектирован, собран и испытан опытный образец секции растительного биоплато и изучена его очищающая способность предварительно очищенной сточной воды.



Рис. 3. Опытный образец секции биоплато в конце эксперимента

Реабилитация водного объекта оценивалась через 5, 14, 28, 35 и 56 суток экспозиции по сравнению с водой в начале эксперимента (таблица). По всем исследованным показателям наблюдается снижение содержания загрязняющих веществ. Установлено, что снижение мутности наступает уже через 5 дней экспозиции, а через два месяца достигает нормативных значений. Уменьшение содержания солей аммония через 28 дней после начала эксперимента понизилось в 4–5 раз, нитратов в 4 раза, а хлоридов и сульфатов в 1,5–2 раза, концентрация фосфора снизилась приблизительно в 5 раз.

Таблица

Содержание поллютантов в пробах сточной воды в эксперименте

Показатель, мг/дм ³	Время экспозиции, сутки					
	начало	5	14	28	35	56
Мутность	5,60	4,78	4,16	3,82	2,93	2,77
Нитраты NO ₃ ⁻	78,71	77,23	69,31	62,98	55,03	45,10
Аммоний NH ₄ ⁺	64,63	55,28	41,83	25,55	20,17	16,06
Фосфаты PO ₄ ³⁻ (по P)	96,29	88,84	67,43	42,88	39,21	36,83
Хлориды Cl ⁻	438,82	410,24	381,59	204,95	154,03	126,78
Сульфаты SO ₄ ²⁻	368,17	354,18	305,77	220,18	145,31	98,71
Fe суммарно	8,78	6,94	4,76	1,55	1,32	1,22
Медь Cu	4,84	3,69	2,24	1,12	0,83	0,45
БПК	156,33	132,48	96,30	54,07	46,21	9,63
ХПК	231,96	192,18	173,97	139,17	92,79	41,75
СПАВ анионакт.	2,87	2,18	1,72	1,47	1,07	0,095

Эффективность очистки воды от органических веществ определяли по БПК и ХПК. Снижение содержания органических веществ уже наблюдалась через 5 дней экспозиции, существенные снижения зафиксированы уже через 14 дней эксперимента, а через 35–56 органическое загрязнение значительно понизилось. БПК через 14 дней экспозиции снизилось на 15

%, через 35 дней – в 3 раза, а через 56 дней экспозиции БПК снизилось до 10 мг/дм³. По ХПК через 35 дней уменьшение загрязнения произошло в 2,5 раза, через 56 дней – в 5,5 раз. Такие изменения связаны с ростом корневой системы высших водных растений на глубину и увеличением их сорбционной и активной поверхности. Так же это связано с микробиологической деструкцией органических веществ в глубину. Таким образом, результаты лабораторного эксперимента подтверждают эффективность опытного образца биоплато для очистки водных объектов от биогенных элементов и органических загрязнителей.

Заключение. Результаты эксперимента свидетельствуют о способности разработанных секционных плавающих биоплато снижать мутность воды, очищать воду от биогенных и органических загрязнителей.

Таким образом, разработанные нами плавающие секционные растительные биоплато можно применять с качестве альтернативного способа для доочистки предварительно очищенных сточных вод а так же для реабилитации антропогенно-нарушенных, загрязненных и эвтрофированных водных объектов.

Библиографические ссылки

1. Escamilla C, Scaroni AE, White SA. An Introduction to Floating Wetlands for Stormwater Ponds. Clemson (SC): Clemson Cooperative Extension, Land-Grant Press by Clemson Extension; 2024 Jan. LGP 1185. <https://lgpress.clemson.edu/publication/an-introduction-to-floating-wetlands-for-stormwater-ponds/>.
2. Artificial floating islands: a promising tool to support juvenile fish in lacustrine systems / K. R. De Moraes [et al.] // *Hydrobiologia*, (2023). 850(9), 1969–1984.
3. Сивкова Е. Е., Семенов С.Ю. Использование технологии “Constructed wetland” для очистки сточных вод малых населенных пунктов и предприятий // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2010. № 4 (12). С. 123–129.
4. MANUAL – Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters / D.S. Broun [et al.] // EPA/625/R-99/010 (NTIS PB2001-101833), 2000.
5. Potential use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments/ Jenson P. D. [et al.] // *Water Sci Technol* 1 November 1993; 28 (10): 149–157. DOI: <https://10.2166/wst.1993.0223>
6. Potential nitrification and denitrification on different surfaces in a constructed treatment wetland / S. Kallner Bastviken [et al.] // *J Environ Qual*. 2003. Nov-Dec; 32(6): 2414–20. doi: 10.2134/jeq2003.2414. Erratum in: *J Environ Qual*. 2004 Jan-Feb; 33(1):411. Erratum in: *J Environ Qual*. 2006 Jan-Feb; 35(1):403. PMID: 14674568.
7. Arivukkarasu D., Sathyanathan R. Floating wetland treatment an ecological approach for the treatment of water and wastewater – A review, *Materials Today: Proceedings*, Volume 77, Part 1, 2023, P. 176-181, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.191>.
8. А. с. SU 1675226 А1, С02F 3/32. Устройство для биологической очистки воды водоемов / Б. Б. Коцинский, В. А. Коваленко, В. С. Гандзюк, Г. Н. Матинов (СССР). № 4697016/26 ; заявл. 29.05.89 ; опубл. 07.09.91, Бюл. № 33. 3 с. : ил.
9. А. с. SU 1346588 А1, С02F 3/32 Устройство для биологической очистки воды водоемов и водотоков / А. В. Ильевский, В. Н. Сотников, А. Н. Фалалеева (СССР). № 3881209/30 26 ; заявл. 09.04.85 ; опубл. 23.10.87, Бюл. № 39. 4 с. : ил.
10. Пат. 2560631 Рос. Федерация: С02F 3/32, E02B 15/04. Устройство для биологической очистки сточных карьерных вод / Евдокимова Г. А., Иванова Л. А., Мязин В. А.; Заявитель и патентообладатель ИППЭС КНЦ РАН. – № 2014122204/13 ; заявл. 30.05.2014 ; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23 10 с. : ил.
11. Пат. 24735 РБ: С02F 3/08 С02F 3/32, С02F 11/02. Наплавное секционное растительное биоплато для биологической очистки воды водоёма / Волчек А. А., Кириченко Л. А., Голубенко М. И.; Заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Брестский государственный технический университет». – № а 20240159 ; заявл. 11.07.2024 ; опубл. 03.11.2025 10 с. : ил.

ЗНАЧЕНИЕ СОЦИОДИЗАЙНА В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

О. С. Киселевский¹⁾

¹⁾ *Белорусско-Российский университет, пр. Мира, 43,
212000, г. Могилёв, Беларусь, kiselevskioleg@gmail.com*

В докладе поднимается вопрос роли дизайна социальных взаимодействий в формировании социальной экологической ответственности отдельных людей и предприятий. Социальная ответственность рассматривается с нескольких точек зрения: с точки зрения Целей устойчивого развития ООН, с точки зрения научной школы исследований социально-техногенного развития мира и смены эволюции жизни, с точки зрения эргономической парадигмы устойчивости био-социо-техногенных систем. Также в докладе сопоставлены шкалы технической, социальной, экономической, политической и экологической зрелости проектов.

Ключевые слова: уровень технической зрелости; TRL; социодизайн; эргодизайн; ответственные исследования и инновации; RRI; цели устойчивого развития; ЦУР; биосоциотехногенная среда.

ROLE OF SOCIAL DESIGN IN FORMATION OF ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY

O. S. Kiselevski¹⁾

¹⁾ *Belarusian-Russian University, Mira Avenue, 43,
212000, Mogilev, Belarus, kiselevskioleg@gmail.com*

The report addresses the role of social interaction design in shaping the social and environmental responsibility of individuals and businesses. Social responsibility is examined from several perspectives: the UN sustainable development goals, the scientific school of research into the socio-technological development of the world and the changing evolution of life, and the ergonomic paradigm of sustainability in bio-socio-technogenic systems. The report also compares scales of technical, social, economic, political, and environmental maturity of projects.

Keywords: technology readiness levels; TRL; sociodesign; ergodesign; responsible research and innovation; RRI; sustainable development goals; SDG; bio-socio-technogenic environment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-229-233>

Экологические вызовы современности требуют развития экологической культуры в обществе. Социальная ответственность перед экологическими вызовами чаще всего ассоциируется с добровольным или законодательно закрепленным вкладом граждан и организаций в защиту окружающей среды. Этот принцип лежит в основе концепции устойчивого развития. С его реализацией связано ожидаемое снижение негативного воздействия техногенного общества на природу. Вместе с тем механизмы развития добровольной или законодательной экологической ответственности в полной мере не ясны. На наш взгляд меры развития экологической культуры в обществе должны начинаться с социодизайна или дизайна социальных взаимодействий, предоставляющего инструменты формирования в обществе заданных культурных констант [1].

В развитии экологической культуры А. А. Кузьменко предлагает в первую очередь опираться на базовую потребность человека обеспечить удобство и эргономику среды своей жизнедеятельности [2]. В историческом и археологическом экскурсе он убедительно доказывает

это стремление человека, проявившегося с изобретением жилища и первых орудий труда. При этом он же отмечает ключевой парадокс современности – текущее увеличение технологических возможностей производства и быта сопровождается снижением их эргономической эффективности. Технологическая сложность современных машин и сооружений противоречит таким базовым константам эргономики, как безопасность и управляемость. Технологии умных домов, интернета вещей (IoT) всё больше отдаляют человека от возможности самостоятельно контролировать собственный комфорт, порождая новый тип отчуждения человека от среды жизнедеятельности.

Будучи приверженцем и последователем мультидисциплинарной научной школы исследований социально-техногенного развития мира и смены эволюции жизни, основанной Э.С. Демиденко [3], А. А. Кузьменко находит из сложившейся ситуации выход в реализации принципов биосфероориентированного эргодизайна. Лежащие в основе модели эргономического ядра устойчивого развития социотехнобиосферного мира 18 принципов проектирования био-социотехнических систем во многом перекликаются с целями устойчивого развития ООН [4]. Главной задачей данного доклада является сравнение (см. таблицу) предлагаемых принципов и целей, а также проектирование подходов к устранению возможных противоречий. Ведь, как справедливо заметил А.Э. Юницкий, цели устойчивого развития ООН продиктованы в первую очередь интересами капитала, а потому оснований для сомнения в их гуманности более чем достаточно [5]. Соображения экологичности, с его точки зрения, чаще служат для навязывания корпорациями невыгодных для конкурента правил игры. А в отношении простых потребителей экологическая повестка вовсе превращается в культ жертвы, требующей по соображениям экологичности отказаться от ряда потребностей, включая потребность в производстве потомства [5]. Хотя противоположная крайность – навязываемая в последнее время обществу потребность в деторождении также продиктована экономическими интересами корпораций и государств.

Созвучный с целью научной школы Э. С. Демиденко, но имеющий ряд существенных отличий подход к построению социо-техно-природных систем предложен А. В. Мироновым [6]. Ключевым отличием его версии дисгармонии человека со средой обитания является снятие ответственности за эргономическое несовершенство техносферы с техники и технологии и перенесение её на культуру. Он заявляет, что «техногенная среда обитания человека является продуктом непрерывной коэволюции природы и общества», и если техника кажется человеку враждебной, то виной технофобии является «мифология техники», ограничивающая научно-технический прогресс культурно-этическими предрассудками. Продуцирование культурно-этических предрассудков происходит под воздействием социально-психологических традиций общества, к которому принадлежит человек – поля его социальных коммуникаций. Проектирование и конструирование этого поля составляет главную задачу социодизайна [1].

Не взирая на то, какими бы ни были причины отчуждения человека от среды жизнедеятельности, и чем бы ни отличались цели и стремления Римского клуба, «золотого миллиарда», или отечественных научных школ, жить и трудиться на планете предстоит всем нам – простым людям различных идеологических взглядов, рас и материального достатка. Поэтому в поисках компромиссного решения мы предлагаем провести ревизию представлений об устойчивом развитии общества и выявить те цели, которые удовлетворяют всех, а не преподносят в завуалированной форме интересы капитала, или владеющего им класса.

Ещё одним подходом исследования гармонии существования человека в техногенной среде является инициатива «HoRRIzon 2020». Основной её целью является разработка научно-обоснованной универсальной метрики социальной ответственности инновационных инициатив RRI (Responsible Research and Innovation). Инструментарий RRI предлагает на всех этапах научно-исследовательской и инновационной деятельности конкретные чек-листы по всему спектру потенциально порождаемых инновацией социальных проблем [7]. Эти чек-листы позволяют на четырёх ключевых этапах формулирования, сопровождения и внедрения идеи оценить

шесть социальных аспектов (воздействие инновации на общественность, открытость доступа к инновации, научное и образовательное значение, аспект гендерного и социального равенства, этический и административно-юридический аспекты) по четырём возможным способам реагирования (предвидение, анализ, включение, обратная связь). Таким образом чек-лист метрики RRI содержит 96 пунктов. А с учётом того, что каждый из пунктов содержит от одного до трёх вопросов, общее число аспектов, учитываемых моделью «HoRRIzon 2020», достигает двух сотен.

Матрица сравнения принципов проектирования био-социо-техногенных систем с целями устойчивого развития ООН

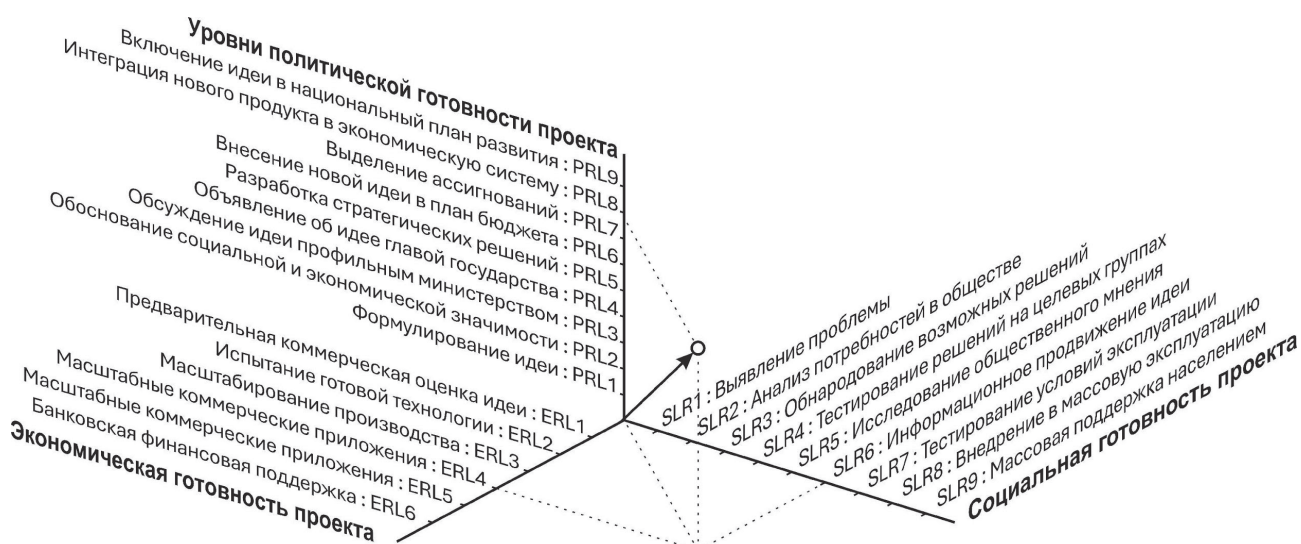
Принципы проектирования био-социо-техногенных систем Э.С. Демиденко	Потребности человека и природы	Этические нормы	Эргономичность, системность	Интегрированное проектирование	Взаимодополняемость	Принципы устойчивости	Вовлечённость потребителей	Автоматизация	Своевременность, «точно вовремя»	Первичная оценка устойчивости	Адаптивность к биосфере	Адаптивность к социальной сфере	Использование природных и социальных ресурсов	Междисциплинарный подход	Вовлечение общественных инициатив	Политические механизмы поддержания устойчивости	Простота	Устойчивость био-социо-техногенных процессов
Ликвидация нищеты																		
Ликвидация голода	●																	
Здоровье и благополучие	●																	
Качественное образование															○			
Гендерное равенство												●						
Чистая вода и санитария	●									●								
Чистая дешёвая энергия												●						
Борьба с безработицей																		
Индустриализация, цифровизация				●		●		●										●
Сокращение неравенства		●										●						
Устойчивые города						●												
Ответственное потребление	●											●	●					
Борьба с изменением климата						●				○								●
Сохранение морских экосистем																		
Сохранение экосистем суши																		
Мир и правосудие		●										●			●			
Партнёрство и добрососедство							●					●			●			

Разумеется, качество взаимодействия человека с техногенной средой, как и степень готовности общества к определённым техническим инновациям, не ограничивается одними лишь социальными проблемами. На практике сложился целый ряд копирующих друг друга систем оценки степени завершённости инноваций по различным аспектам. Первым формализованным аспектом был и остаётся фактор технической готовности проекта. Шкала технической готовности проекта TRL (Technological Readiness Level) была разработана ещё в 70-х годах прошлого века Американским аэрокосмическим агентством и наибольшую популярностьнискала в последние 30 лет. Она выделяет 9 последовательных этапов зрелости проекта, начинающихся с идеи и заканчивающихся уверенными устойчивыми продажами готового изделия или услуги. Шкала TRL используется не только для оценки текущего уровня готовности проекта, но также для прогнозирования финансовых и интеллектуальных затрат на его продолжение и завершение [8]. Потребность подобным образом оценить и спрогнозировать социальные и политические аспекты инновации привела к многочисленным удачным и не вполне удачным попыткам копирования шкалы TRL экономистами и социологами.

Учитывая, что последователи научной школы исследований социально-техногенного развития мира и смены эволюции жизни Э.С. Демиденко вполне справедливо и убедительно продемонстрировали междисциплинарное взаимное влияние пяти групп независимых дисциплин [4], очередной нашей задачей было найти или разработать адекватные этим дисциплинами количественные метрики:

- научно-технической группе дисциплин соответствует шкала TRL;
- политико-правовой группе должна соответствовать шкала PRL [9];
- экономическо-социальной – либо шкала ERL [9], либо CRI от агентства «ARENA» [10];
- с ролью социально-культурной метрики вполне способна справиться шкала SLR [9];
- а эколого-географической метрикой вполне можно признать шкалу RRI [7].

Поскольку эти пять групп являются взаимодействующими, но независимыми, оценивающие их метрики также являются разнородными и не допускают сведения в единый индекс. С целью объективной оценки пригодности инновационной технологии для её включения в био-социо-техногенную систему мы предлагаем рассматривать пятимерный вектор, построенный в координатах TRL – ERL – SLR – PRL – RRI. Насколько это возможно, на рисунке показана трёхмерная проекция подобного вектора, ограниченная оценкой политической социальной и экономической готовности.



Определение индекса готовности инновационного проекта в пространстве экономического, социального и политического измерений

Цели устойчивого развития, безопасности и инклюзивного социально-экономического обновления стали главным нарративом повестки дня состоявшейся 16 ноября 2023 г. сессии «Сообщества практиков» (CoP 5.0 – Community of Practice). Главным результатом работы этого сообщества стали сформулированные акценты и приоритеты парадигмы новой научно-технической революции, получившей название «Индустрия 5.0». В качестве ключевого фактора, содействующего достижению этих целей, обозначена трансформация исследовательских и технологических подходов к проектированию в направлении удовлетворения потребностей человека в естественной для него среде обитания. Такие факторы, как эволюция потребительских предпочтений, демографический дисбаланс, международная конкуренция, экология, геополитика требуют внедрения в процессы проектирования и принятия решений принципов социодизайна. Как заметил В.В. Спасенников, неконтролируемым социодизайном ценностей поколения миллениалов в 90-х годах стали военные конфликты, криминальная напряжённость, атипичная пневмония, культ роскоши и ранние цифровые технологии [1]. Социодизайн среды нового поколения вполне контролируемый и управляемый, но при этом ничуть не более комфортный, гуманный или эргономичный.

Социально-ориентированное государственное устройство предусматривает поддержку инновационных инициатив на местах. По нашему твёрдому убеждению, инновационная идея может и должна зарождаться исключительно в научно-практическом секторе. Прежде чем быть озвученной главой государства она должна быть как минимум научно обоснована, сформулирована и обсуждена в соответствующем ведомстве или министерстве.

Библиографические ссылки

1. Спасенников В. В. Социодизайн преемственности поколений: теоретико-экспериментальный подход // Эргодизайн. 2021. № 1(11). С. 15-26. doi: 10.30987/2658-4026-2021-1-15-26.
2. Кузьменко А. А. Эргодизайн техносферы: стремление к эргономичности и отклонение от него в условиях социотехноприродного развития // Интеллектуальные технологии в эргодизайне и когнитивных науках : сб. всерос. науч.-практ. конф. Брянск : БГТУ, 2025. С. 16–21.
3. Демиденко Э. С., Дергачева Е. А. Безопасность биосферы в техногенном мире: состояние и перспективы // Вестник Международной академии наук (русская секция). 2022. № S2. С. 8–16.
4. Спасенников В. В., Кузьменко А. А., Киричек А. В. Эргономическая парадигма устойчивости биосферной жизни в контексте эволюции и синергии междисциплинарных исследований // Глобалистика-2023 : сб. междунар. науч. конгр. М. : 2024. С. 363-371. doi: 10.46865/978-5-901640-41-8-2024-363-371.
5. Юницкий А. Э., Петров Е. О. Глобальное ритуальное жертвоприношение и становление инженерной цивилизации как альтернативные сценарии будущего // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты : сб. VI междунар. науч.-техн. конф. Минск : ГП «СтройМедиаПроект», 2024. С. 136–161.
6. Миронов А. В. Философия социо(техно)природной системы: монография. М. : МАКС Пресс, 2013. 192 с.
7. The societal readiness thinking tool: A practical resource for maturing the societal readiness of research projects / M. J. Bernstein [et al.] // Science and Engineering Ethics. 2022. Т. 28. №. 1. С. 6. doi: 10.1007/s11948-021-00360-3.
8. Киселевский О. С. Инновационно активный менеджмент знаний // Наука и инновации. 2025. № 6(268). С. 26-33. doi: 10.29235/1818-9857-2025-6-26-33.
9. Bhatti H. J., Danilovic M., Nābo A. A Multidimensional Readiness Index for the Electrification of the Transportation System in China, Norway, and Sweden // Future Transp. 2023. № 3. P. 1360–1384. doi: 10.3390/futuretransp3040075
10. Animah I., Shafiee M. A framework for assessment of technological readiness level (TRL) and commercial readiness index (CRI) of asset end-of-life strategies // Safety and Reliability–Safe Societies in a Changing World. CRC Press, 2018. P. 1767–1773.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ РЕСУРСЫ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

А. И. Курбатова¹⁾, Е. А. Князева¹⁾

¹⁾ *Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, ул. Миклухо-Маклая, 6, 117198, г. Москва, Россия, kurbatova-ai@rudn.ru, knyazeva_ea@rudn.ru*

В статье рассматриваются геоэкологические аспекты трансформации городской среды под воздействием изменения климата. Проанализировано влияние климатических факторов на атмосферный воздух, водные ресурсы, литосферу, почвенный и растительный покров городов. Предложены геоэкологические индикаторы, позволяющие количественно оценивать направленность и интенсивность изменений жизнеобеспечивающих ресурсов городской среды. Сформирована концептуальная модель взаимодействия процессов изменения климата и городской среды.

Ключевые слова: изменение климата; городская среда; геоэкология; индикаторы; атмосферный воздух; водные ресурсы; почвы; растительность; устойчивое развитие; адаптация.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON LIFE-SUSTAINING RESOURCES OF THE URBAN ENVIRONMENT

A. I. Kurbatova¹⁾, E. A. Knyazeva¹⁾

¹⁾ *Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Miklukho-Maklaya str., 6, 117198, Moscow, Russia, kurbatova-ai@rudn.ru, knyazeva_ea@rudn.ru*

The article discusses the geoeological aspects of the urban environment transformation under the influence of climate change. The influence of climatic factors on atmospheric air, water resources, lithosphere, soil and vegetation cover of cities is analyzed. Geoeological indicators are proposed to quantify the direction and intensity of changes in the life-supporting resources of the urban environment. A conceptual model of the interaction between climate change processes and the urban environment is formed.

Keywords: climate change; urban environment; geoeology; indicators; atmospheric air; water resources; soils; vegetation; sustainable development; adaptation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-234-239>

Современные климатические изменения формируют новые условия функционирования урбанизированных территорий, где высокая концентрация населения и инфраструктуры усиливает уязвимость природной среды. Последствия изменения климата создают угрозу для жизнеобеспечивающих ресурсов города – природных компонентов, обеспечивающих базовые экологические функции и условия жизнедеятельности населения: формирование благоприятного качества атмосферного воздуха, водоснабжение и водоотведение, устойчивость геологического основания застройки, поддержание почвенного плодородия и функционирование растительного покрова как элемента регуляции микроклимата и биогеохимических циклов. К таким ресурсам относятся атмосферный воздух, водные ресурсы, ресурсы литосферы, почвы и растительность, поскольку именно они определяют экологическую устойчивость городской системы и напрямую реагируют на изменения температурного и гидрологического режима. Повышение температуры, изменение режима выпадения осадков и учащение экстремальных явлений приводят к изменению состояния указанных компонентов природной среды, что требует разработки системы геоэкологических индикаторов для комплексной оценки происходящих трансформаций и своевременного принятия адаптационных мер.

Влияние изменения климата на атмосферный воздух. Одним из ключевых последствий изменения климата для атмосферного воздуха в городах является усиление эффекта городского теплового острова. Рост температуры и учащение экстремально жарких периодов приводят к увеличению температурного контраста между городом и прилегающими территориями, что влияет на вертикальную устойчивость атмосферы и снижает интенсивность турбулентного перемешивания. В результате в приземном слое накапливаются загрязняющие вещества, включая оксиды азота, взвешенные частицы и приземный озон, концентрации которых в жаркие периоды могут превышать нормативные значения [1].

Изменение климатических условий также способствует росту концентрации *вторичных загрязнителей* в атмосферном воздухе городов. Повышение температуры и увеличение интенсивности солнечной радиации создают благоприятные условия для образования фотохимического смога [2]. Эти процессы особенно выражены в крупных городах с интенсивным автотранспортным движением и высоким уровнем выбросов оксидов азота, монооксида углерода и летучих органических соединений, приводящих к образованию приземного озона, что повышает риск неблагоприятного воздействия на здоровье населения.

Дополнительным фактором ухудшения качества атмосферного воздуха в условиях изменения климата является рост частоты экстремальных природных явлений, включая *засухи и лесные пожары*. Поступление продуктов горения и мелкодисперсных аэрозолей в атмосферу приводит к кратковременному, но резкому ухудшению качества воздуха в городах, расположенных как вблизи, так и на значительном удалении от очагов пожаров [3].

Влияние изменения климата на водные ресурсы. Повышение температуры воздуха, изменение режима атмосферных осадков и рост частоты экстремальных гидрометеорологических явлений приводят к трансформации элементов городского водного баланса. Одним из ключевых последствий изменения климата является изменение режима осадков, проявляющееся в увеличении доли *интенсивных кратковременных ливней* при одновременном росте продолжительности *засушливых периодов* [4]. В городах с высокой долей водонепроницаемых поверхностей это приводит к резкому увеличению поверхностного стока, снижению инфильтрации и росту нагрузки на системы ливневой канализации. В результате возрастает риск локальных подтоплений, эрозии русел малых водотоков, а также загрязнению водоёмов и повышению мутности воды. Повышение температуры воздуха и воды оказывает существенное влияние на гидрохимический и гидробиологический режим городских водоёмов. Рост температуры способствует снижению растворимости кислорода, ускорению биохимических процессов и усилению эвтрофикации, особенно в стоячих и слабопроточных водоёмах [5]. Эти процессы негативно сказываются на экосистемных функциях водных объектов и ограничивают возможности их использования в рекреационных и хозяйственных целях.

Повышение температуры также усиливает испарение с водной поверхности, что *снижает доступные запасы пресной воды* в реках и водохранилища. Изменение климата также влияет на состояние подземных вод, которые во многих городах являются важным источником водоснабжения. Сокращение инфильтрационного питания в условиях увеличения застроенных площадей и учащения засух приводит к снижению уровней подземных вод и изменению их химического состава [6]. В сочетании с ростом водопотребления это повышает риск дефицита водных ресурсов и требует адаптации систем водоснабжения к новым климатическим условиям.

Для прибрежных мегаполисов критическую опасность представляет повышение уровня Мирового океана вследствие таяния ледников, которое приводит к интрузии морской воды в пресноводные источники и засолению водоносных горизонтов и грунтовых вод. Это ставит под угрозу источники питьевого водоснабжения и делает необходимым дорогостоящее опреснение.

Влияние изменения климата на ресурсы литосферы. Климатически обусловленные изменения увлажнения и температурного режима способствуют активизации экзогенных геологических процессов, включая оползни, суффозию, карст, эрозию и подтопление. Увеличение интенсивности экстремальных осадков и частоты паводков усиливает размыв склонов, формирование овражно-балочной сети и нарушение устойчивости склоновых территорий в пределах городов [7]. Одновременно засушливые периоды и повышение испаряемости приводят к усадке и растрескиванию грунтов, изменению их физико-механических свойств и снижению несущей способности оснований зданий и сооружений [8].

Особое значение имеют *изменения криогенных процессов и деградация многолетне-мёрзлых пород* в северных городах, что приводит к увеличению мощности сезонно-талого слоя, термокарстовым процессам и просадке земной поверхности, повышая риски для городской инфраструктуры. Деградация мерзлоты также сопровождается высвобождением углекислого газа и метана из органических и газогидратных отложений, что формирует положительную обратную связь между литосферными процессами и глобальным изменением климата [9].

Влияние изменения климата на почвенный покров. Повышение температуры воздуха, изменение режима увлажнения и учащение экстремальных климатических явлений приводят к нарушению естественных почвообразовательных процессов и изменению функционирования городских почв как элемента жизнеобеспечивающей системы [10]. В условиях урбанизации климатические факторы действуют на почвы, которые уже характеризуются нарушенной морфологической структурой и высокой техногенной нагрузкой.

Рост температуры и увеличение продолжительности безморозного периода способствуют интенсификации биохимических процессов в городских почвах, включая ускорение минерализации органического вещества и изменение активности *почвенной микробиоты*. Одновременно с этим учащение засушливых периодов и тепловых волн приводит к снижению влажности почв, ухудшению их водно-физических свойств и усилению процессов деградации, особенно в зонах с высокой степенью уплотнения и недостаточным растительным покровом [11]. Эти изменения снижают способность городских почв выполнять регуляторные и буферные функции.

Изменение климатических условий также влияет на *миграцию и накопление загрязняющих веществ* в городских почвах. Колебания температурно-влажностного режима определяют подвижность тяжёлых металлов, нефтепродуктов и других техногенных компонентов, а также их доступность для биоты [12]. В периоды интенсивных осадков возрастает риск вымывания загрязняющих веществ и их поступления в поверхностные и подземные воды, тогда как в засушливых условиях усиливается их аккумуляция в верхних горизонтах почвенного профиля.

Дополнительным фактором трансформации почвенного покрова городов в условиях изменения климата является рост частоты экстремальных явлений, таких как ливневые осадки и засухи. Интенсивные осадки способствуют развитию *эрозионных процессов*, размыву техногенных грунтов и нарушению устойчивости почвенных конструкций, тогда как длительные засушливые периоды приводят к *деградации структуры почв* и снижению их экологической устойчивости [13].

Влияние изменения климата на растительный покров. Изменение климата оказывает многостороннее воздействие на формирование и функционирование растительного покрова в городах, изменяя условия произрастания, устойчивость и экосистемные функции городской растительности. Повышение средней температуры воздуха, учащение тепловых волн и изменение режима увлажнения приводят к смещению вегетационных фаз у древесных и травянистых растений. В условиях урбанизированной среды данные изменения усиливаются за счёт эффекта городского теплового острова и высокой антропогенной нагрузки.

Рост температур и увеличение продолжительности засушливых периодов негативно отражаются на физиологическом состоянии растений, особенно в условиях деградации почвенного покрова и дефицита влаги, характерных для городских территорий [14]. Климатический стресс способствует снижению жизнеспособности зелёных насаждений, повышает их восприимчивость к вредителям и болезням, а также приводит к изменению видового состава городской растительности в сторону более термо- и ксерофильных видов.

Изменение климатических условий также влияет на *пространственную структуру и экосистемные функции* растительного покрова городов. Уменьшение влажности и рост температур способствуют снижению продуктивности растительности и ослаблению её способности регулировать микроклимат, улучшать качество атмосферного воздуха и участвовать в формировании водного баланса [15]. Одновременно с этим экстремальные климатические явления, такие как засухи и тепловые волны, повышают риск усыхания деревьев и утраты зелёных насаждений, особенно в центральных и плотно застроенных районах городов. Более продолжительные и засушливые периоды в сочетании с высушиванием растительности *повышают пожарную опасность* в городских лесах и парковых зонах, разрушая инфраструктуру, нанося экономический ущерб и вред здоровью населения.

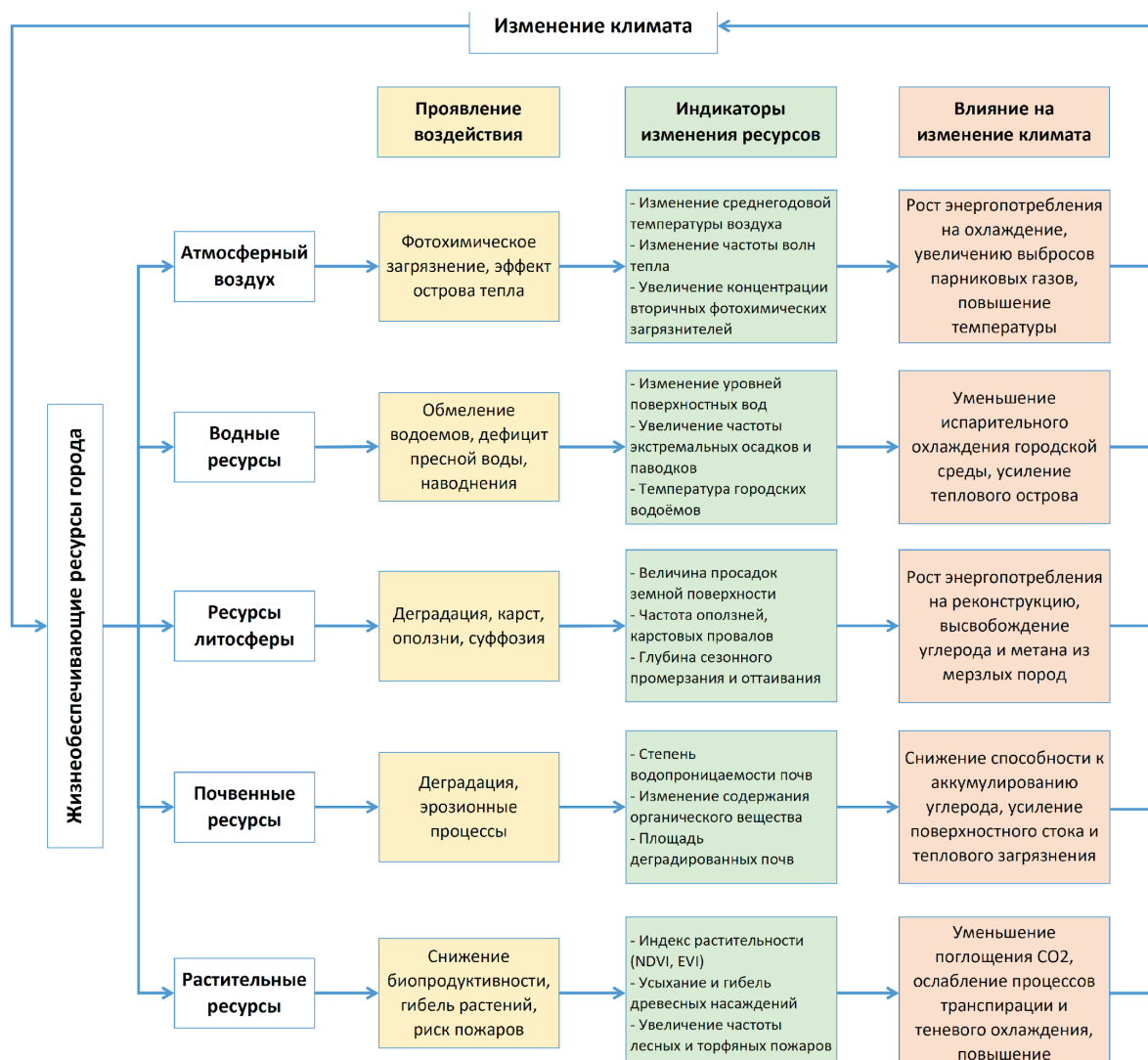
На основе проведённого анализа предложена система индикаторов, позволяющих количественно оценивать трансформацию жизнеобеспечивающих ресурсов под воздействием климатических изменений (таблица).

Индикаторы изменения жизнеобеспечивающих ресурсов городской среды под влиянием изменения климата

Ресурсы	Примеры индикаторов изменения ресурсов	Ед. измерения
Атмосферный воздух	Изменение среднегодовой температуры воздуха	°С
	Изменение частоты и продолжительности волн тепла	дни/год
	Увеличение концентрации вторичных фотохимических загрязнителей	мкг/м ³
Водные ресурсы	Изменение уровней поверхностных вод	м
	Увеличение частоты экстремальных осадков	мм/год
	Изменение температуры городских водоёмов	°С
Ресурсы литосферы	Величина просадок земной поверхности	м
	Частота оползней, карстовых провалов	ед./год
	Глубина сезонного промерзания и оттаивания	м
Почвенные ресурсы	Степень водопроницаемости почв	м/сут
	Изменение содержания органического вещества	%
	Площадь деградированных почв	м ²
Растительные ресурсы	Индекс растительности (NDVI, EVI)	–
	Усыхание и гибель древесных насаждений	%
	Увеличение частоты лесных и торфяных пожаров	ед./год

Составлено по: [1–15].

Взаимодействие урбанизированных территорий и климатической системы носит двусторонний характер и основано на анализе прямых и обратных связей между природными и антропогенными компонентами. На основе проведённого анализа составлена модель взаимовлияния изменения климата и городской среды, включающая индикаторы изменения жизнеобеспечивающих ресурсов городской среды (рисунок).



Взаимовлияние изменения климата и изменения жизнеобеспечивающих ресурсов городской среды.
Составлено по: [1–15]

Таким образом, изменение климата оказывает комплексное воздействие на все ключевые жизнеобеспечивающие ресурсы городской среды: ухудшается состояние атмосферного воздуха и водных ресурсов, деградируют грунты и рельеф, почвенный и растительный покров, что в совокупности подрывает устойчивость городской инфраструктуры и создаёт прямые угрозы для здоровья населения. Предложенная система геоэкологических индикаторов изменения жизнеобеспечивающих ресурсов городской среды под влиянием изменения климата позволяет обеспечить количественную оценку данных изменений, повысить эффективность мониторинга и создать основу для интеграции климатической адаптации в практику территориального планирования и управления развитием городов.

Библиографические ссылки

1. Urban Climates / T. R. Oke [et al.] Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
2. Jacob D. J., & Winner D. A. Effect of climate change on air quality // Atmospheric Environment, 2009. 43(1), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051>
3. Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure / C. E. Reid [et al.] // Environmental health perspectives, 2016. 124(9), 1334–1343. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>.

4. Flood risk and climate change: Global and regional perspectives / Z.W. Kundzewicz [et al.] // *Hydrological Sciences Journal*. 2014. 59 (1) 1-28. 10.1080/02626667.2013.857411.
5. Global threats to human water security and river biodiversity / C. J. Vörösmarty [et al.] // *Nature*. 2010. 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
6. Flow and storage in groundwater systems / W. M. Alley [et al.] // *Science (New York, N.Y.)*, 2002. 296(5575), 1985–1990. <https://doi.org/10.1126/science.1067123>
7. *Анисимов О. А.* Влияние изменения климата на природные и социально-экономические системы в России // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 8. С. 3–16.
8. Effect of Urban Soil Compaction on Infiltration Rate / J. H. Gregory [et al.] // *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006. 61, 117–124.
9. Climate change and the permafrost carbon feedback / E. A. Schuur [et al.] // *Nature*, 520(7546), 2015. 171–179. <https://doi.org/10.1038/nature14338>
10. *Трофимов В. Т., Королёв В. А.* Геозкология. М.: Изд-во МГУ, 2002. 384 с.
11. *Строганова М. Н., Прокофьева Т. В.* Городские почвы: генезис и экологические функции. М.: Изд-во МГУ, 2005. 288 с.
12. *Перельман А. И.* Геохимия ландшафта : Учеб. пособие для студентов геогр. и экол. специальностей вузов / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. 3. изд., перераб. и доп. Москва : Астрель-2000, 1999. 762,
13. *Lal R.* Climate Change and Soil Degradation Mitigation by Sustainable Management of Soils and Other Natural Resources, 1, 199–212 (2012). <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0031-9>
14. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure / S. E. Gill [et al.] // *Built Environment*, 2007. 33, 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
15. Urban Greening to Cool Towns and Cities: A Systematic Review of the Empirical Evidence / D. E. Bowler [et al.] // *Landscape and Urban Planning*, 2010. 97, 147–155.

БИОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИНВАЗИВНЫХ РАСТЕНИЙ В СОХРАНЕНИИ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ БЕЛАРУСИ (НА ПРИМЕРЕ ЭХИНОЦИСТИСА ЛОПАСТНОГО (ECHINOCYSTIS LOBÁTA))

Ю. Г. Лях¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Республика Беларусь, Yury_Liakh.61@mail.ru

С момента появления жизни на земле и до настоящего времени среди огромного видового разнообразия царства растений не перестает существовать принцип перемещения одних групп в неестественную для них среду произрастания. Для некоторых из них, ввиду неблагоприятных условий эти перемещения остаются незаметными, для других видов, по причине развитости их приспособительных свойств, эти перемещения становятся началом освоения (завоевания) новых территорий. Таким видам растений человек дал понятие интродуцентов или не желательных.

Одним из таких является эхиноцистис лопастной или колючеплодник (*Echinocystis lobata*) который попал на территорию Беларуси в начале 19-го столетия. С того времени это растение сумело адаптироваться, «захватило» огромные территории и продолжает наносить экономический ущерб народному хозяйству Беларуси.

Ключевые слова: интродуцированные растения; эхиноцистис лопастной; паразитическое действие; природная среда; экология.

BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL SIGNIFICANCE OF INVASIVE PLANTS IN THE CONSERVATION OF SPECIES DIVERSITY IN BELARUS (ON THE EXAMPLE OF (ECHINOCYSTIS LOBÁTA))

Yu. G. Liakh¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Republic of Belarus, Yury_Liakh.61@mail.ru

From the dawn of life on Earth to the present day, the movement of certain groups into unnatural habitats has been a consistent pattern among the vast species diversity of the plant kingdom. For some, due to unfavorable conditions, these movements remain unnoticed; for others, due to their highly developed adaptive capabilities, these movements become the beginning of the colonization (conquest) of new territories. Humans have coined the term “introduced” or “undesirable” for such plant species.

One such plant is the thorny scaly-fruited echinocystis (*Echinocystis lobata*), which arrived in Belarus in the early 19th century. Since then, this plant has adapted, “conquered” vast territories, and continues to cause economic damage to the Belarusian economy.

Keywords: introduced plants; echinocystis lobata; parasitic action; natural environment; ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-240-244>

Введение. Интродуценты (интродуцированные растения) – это растения, переселенные в места, где они раньше не произрастали. Это происходит в результате интродукции – преднамеренного или случайного переселения человеком особей какого-либо вида за пределы естественного ареала в новые для них места обитания. Интродуцированный (от англ. Introduced species), или чужеродный (некоренной, несвойственный вид) для данной территории, преднамеренно или случайно завезенный на новое место в результате человеческой деятельности [1].

Эхиноцистис лопастной или колючеягодник, растение, которое имеет огромную энергию роста и захватывает поймы рек, земельные участки заброшенных строений, и сельскохозяйственных угодий. Данный вид способен уничтожать целые участки леса, полностью оплетая деревья и лишая их солнечного света. Именно эти свойства позволили ему широко распространиться на территории Беларуси, принося огромный экономический ущерб народному хозяйству. И, тем не менее, ущерб, причиняемый этим интродуцентом, до сих пор не подсчитан, хотя работа в этом направлении ведется.

В 19 веке из Северной Америки эхиноцистис завезли в Европу. В 20 веке в Сибирь. Привлекательное для озеленителей растение, отличный медонос (рис. 1).



Рис. 1. Эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata*)
(Фото Ляха Ю.Г., 10.08. 2024 г.)

Эхиноцистис (*Echinocystis lobata*) иногда называют «бешеным огурцом», но название это относится к другому растению. Настоящий бешеный огурец (*Ecballium elaterium*) также принадлежит к семейству тыквенных, однако относится к другому роду. Произрастает в Крыму, на Кавказе, юге России, Средиземноморье. Внешне есть некоторое сходство. Тоже «отращивает» тыковки-огурчики и стреляет семенами. Но он не агрессивен к соседним растениям, как эхиноцистис и является лекарственным растением.

Земля в Беларуси всегда ценилась. Практически во все времена к ней относились рачительно и по хозяйски. Особенно почитались площади пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур. Пастбища так же были в цене. Выращивание и откорм большого поголовья животных – одно из основных занятий сельских жителей Беларуси 18, 19 и 20-х веков.

Следом по рангу шли земли занятые лесами, болотами, поймы рек, озер и их прибрежные территории. Эти площади так же использовались как сенокосы и выпасы для скота. В то время эхиноцистису практически не было возможности обрести спокойное произрастание.

В те далекие годы практически ни один гектар не оставался не учтенным. Даже топкие прибрежные территории и берега рек и озер были подкошены до самой воды.

На корм скоту использовали околководные растения такие как: осоки (острая, островатая, пузырчатая и другие), аир, калужница, лютик язычковый, стрелолист, рогоз узколистный, хвощ болотный и ряд других.

Последние десятилетия, благодаря изменению отношения людей к земле (обычно это называют бесхозяйственностью) позволил этим интродуцентам выйти из под контроля человека и нанести экономический ущерб народному хозяйству страны.

По данным Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича, всего в Беларуси произрастает более 300 видов инвазивных (чужеродных) растений. Наиболее яркими представителями являются: *Heracleum sosnowskyi* Manden. – Борщевик Сосновского, *Solidago canadensis* L. – Золотарник канадский, *Echinocystis lobata* (Michx.) – Эхиноцистис лопастной, *Acer negundo* L. – Клен ясенелистный, *Robinia pseudoacacia* L. – Робиния лжеакация [2; 3].

Эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata*) – однолетнее однодомное травянистое североамериканское растение из семейства Тыквенных (*Cucurbitaceae*). Стебли тонкие, сильно разветвленные, до 5–6 м длиной, лазающие с помощью усиков. Листья глубоковыемчатые, пятилопастные. Тычиночные цветки собраны в красивые кистевидные прямостоячие метелки. Венчик белый. Цветет в июне, июле – сентябре.

Плоды яйцевидной формы, похожи на бочонковидные огурчики длиной 4-5 см. Поверхность плодов сизо-зеленая, покрыта крупными шипами. Внутри плодов содержится слизь с семенами. Семена созревают в сентябре и через отверстия на конце плода вместе со слизью выбрасываются на большое расстояние. Культивируется как декоративное растение. Встречается в населенных пунктах, среди кустарников, по берегам водоемов. Произрастает на пустырях, в кустарниках около человеческого жилья, в садах, дачных поселках, по прибрежным кустарникам вдоль рек [4; 5].

Неконтролируемое распространение данного вида приводит к вытеснению из природных экосистем аборигенных растений.

Материалы и методика исследований. Научный поиск проводили на территории Молодечненского района Минской области в пойме реки Березина. Было изучено видовое разнообразие прибрежной растительности и степень распространения эхиноцистиса лопастного (*Echinocystis lobata*). Одновременно определяли степень угнетения аборигенных видов растений эхиноцистисом и засорения почвы семенами этого интродуцента.



Рис. 2. Эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata*) на кукурузном поле. Молодечненский район (Фото Ляха Ю.Г., 25.04.2025 г.)

Результаты исследований и их обсуждение. По итогам проведения исследования установлено, что сохранившиеся семена эхиноцистиса после схода снежного покрова, оттаивания и прогревания верхнего слоя почвы начинают активно прорастать (рис. 2).

В этот период на изучаемой территории нами не было зарегистрировано активного пророста семян и растений аборигенных видов флоры, обычных для этой местности.

Это означает, что эхиноцистис всегда находится в более выгодном положении и активной его вегетации ничто не препятствует. Напротив, интенсивный прирост зеленой массы создает невозможность для роста большинства аборигенных видов растений. В сутки, на данном этапе вегетации, прирост эхиноцистиса составляет 2-6 см.

Как видим в более поздние сроки эхиноцистис вступает в конкретную конкуренцию с аборигенными растениями, и, благодаря активности своего роста, занимает наиболее выгодную позицию (рис. 3).



Рис. 3. Эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata*) среди аборигенных конкурентов на территории Молодечненского района Минской области (Фото Ляха Ю.Г., 08.05.2025 г.)

Заключение. Исследования, проведенные нами указывают на ситуацию, при которой дальнейшее безразличие властей нашего государства к неуправляемому процессу распространения эхиноцистиса лопастного черевато необратимыми процессами в экологии природной среды и возникновению негативных экономических последствий для народного хозяйства Беларуси.

Библиографический список

1. Парфенов В. И. Современная антропогенная динамика флоры: к проблеме мониторинга инвазивных чужеродных видов / Мониторинг состояния растительного мира : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 22–26 сент. 2008 г. / Ин-т эксперимент. бот. им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. Минск, 2008. С. 82–83.

2. Лях Ю. Г., Омар Т. Р. Рациональное использование земельных ресурсов на фоне распространения золотарника канадского в Беларуси / Международная научная конференция «Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений для оценки

и прогноза изменений состояния растительности под воздействием природных и антропогенных факторов». 9-10 марта 2023 г., Минск. С. 349–352.

3. *Лях Ю. Г., Омар Т. Р.* Золотарник канадский (*Solidago Canadensis* L.) и актуальные проблемы земледелия в Беларуси / Международная научно-практическая конференция «Перовские чтения», посвященные 95-летию со дня рождения Заслуженного работника сельского хозяйства, кандидата сельскохозяйственных наук Перова Н. П. и 75-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора Мурзиной Т. В. Забайкальский аграрный институт – филиала ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского». г. Чита. 21 февраля 2025 г. С. 271–276.

4. *Liakh Yu. G., Klimkova S. A.* Echinocystis (*Echinocýstis lobáta*) and its distribution in Belarus (Эхиноцистис (*Echinocýstis lobáta*) и его распространение в Беларуси) / XV-th International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students «Actual Environmental Problems», 2025. г. Минск, 27-28 ноября 2025 г. С. 290–291.

5. *Лях Ю. Г., Климкова С. А., Омар Т. Р.* Эхиноцистис (колючеплодник лопастный) и его экологическая роль в Беларуси / XXVIII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства». г. Горки, 22-24 мая 2025. С. 293–297.

ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО РАСТЕНИЕВОДСТВА НА СОХРАНЕНИЕ И РОСТ ПОПУЛЯЦИЙ ОХОТНИЧЬИХ ЗВЕРЕЙ И ПТИЦ В БЕЛАРУСИ

Ю. Г. Лях¹⁾, О. В. Мелюх¹⁾, Т. В. Некрасова¹⁾, В. Ю. Климашевскис¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Республика Беларусь, Yury_Liakh.61@mail.ru

Беларусь достаточно сложно назвать территорией, где природная среда может обеспечить дикую фауну достаточным объемом кормов, достаточным в плане увеличения численности популяций ресурсных видов животных. Причин для такой ситуации несколько. Основными можно назвать: климатические условия, ограниченность территории и антропогенная нагрузка на окружающую природную среду. Сельскохозяйственное хозяйство, лесное хозяйство, а именно территории Беларуси, на которых ведут свою деятельность эти хозяйства, ограничивают не только кормовую базу диких зверей и птиц, но и создают постоянный и постоянно увеличивающийся фактор беспокойства.

В публикации приводятся результаты исследований и наблюдений за прохождением сезонных миграций зверей и птиц. А также, дана оценка роли в этом процессе посевов сельскохозяйственных культур в осенне-зимний и весенний периоды. Кроме всего в данной публикации представлены результаты наблюдений по использованию потерь урожая кукурузы охотничьими видами птиц.

Ключевые слова: дикие звери и птицы; аграрное производство; сельскохозяйственные культуры; кормовая база; ресурсные виды; сохранение популяций.

THE IMPACT OF AGRICULTURAL CROP PRODUCTION ON THE PRESERVATION AND GROWTH OF POPULATIONS OF GAME ANIMALS AND BIRDS IN BELARUS

Yu. G Liakh¹⁾, O. V. Melyuh¹⁾, T. V. Nekrasova¹⁾, V. Yu. Klimashevskis¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Republic of Belarus, Yury_Liakh.61@mail.ru

Belarus is hardly a territory where the natural environment can provide wildlife with sufficient food to support population growth of resource-rich species. There are several reasons for this situation. The main ones include climate conditions, limited space, and anthropogenic pressure on the natural environment. Agriculture and forestry, particularly the areas of Belarus where these industries operate, not only limit the food supply for wild animals and birds but also create a constant and ever-increasing disturbance factor.

This publication presents the results of research and observations on the seasonal migrations of animals and birds. It also assesses the role of crop plantings in this process during the autumn-winter and spring periods. Furthermore, this publication presents observations on the use of corn crop losses by game birds.

Keywords: wild animals and birds; agricultural production; agricultural crops; food supply; resource species; conservation of populations.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-245-248>

Введение. Беларусь расположена на пути сезонных миграций разнообразных видов перелетных птиц. Практически все они останавливаются на отдых и кормежку, а для этого используют природные угодья Беларуси, которыми изобилует наша республика. Млекопитающие, представители охотничьей фауны Республики Беларусь, ведут более или менее оседлый образ обитания. Они так же используют фаунистическое разнообразие в качестве корма.

Республика Беларусь обладает достаточно большим представительством дикой фауны, которое насчитывает около 470 видов позвоночных животных и более 30 тыс. видов беспозвоночных. Фауна млекопитающих включает свыше 70 видов, среди которых преобладают грызуны и хищники. Самая разнообразная фауна птиц – около 310 видов. Из них 227 видов гнездятся на территории страны, остальные прилетают во время сезонных перелетов. Как видим, эти животные могут успешно существовать в природной среде, исключительно полагаясь на численность в каждой из видовой популяции. Физиологически и повинаясь законам природы, каждый вид может успешно существовать на Земле лишь в случае определенного числа особей в популяциях. Для каждого вида живых существ это число индивидуальное. Критическое снижение этого числа неминуемо грозит исчезновением того или иного вида. В мире таких примеров (исчезновению или вымиранию) большое количество. К сожалению, этот процесс продолжается и в настоящее время.

Не последнее место, а скорее всего одно из ведущих, в процессах сохранения видовой разнообразия и численности в популяциях играет кормовая база. Именно наличие и изобилие корма в регионах обитания диких зверей и птиц предопределяет видовое разнообразие и успешное развитие популяций.

Это далеко не весь перечень прессинга, который оказывает человек на диких животных в их родной среде обитания. Дорожно-транспортные сети, несанкционированные свалки, туристические мероприятия, сбор дикоросов (грибы, ягоды и т.д.) – все это неблагоприятно сказывается на сохранение диких представителей фауны.

Тем не менее, в Беларуси многое предпринимается для того, что бы не только создать благоприятные условия обитания для диких зверей и птиц, но таковы для сохранения их численности, а в некоторых случаях даже ее увеличения.

Материалы и методы. При проведении исследований по изучению влияния сельскохозяйственного растениеводства на сохранение и рост популяций охотничьих зверей и птиц на территории Беларуси и оценки нанесения экономического ущерба сельскому хозяйству мы провели исследования по установлению посещаемости посевов зерновых культур ресурсными видами животных.

Кроме всего, нами проводились лабораторные исследования содержимого желудочно-кишечного тракта животных добытых в процессе проведения сезонных охот.

Результаты и их обсуждение. Обитание диких животных в охотничьих угодьях Беларуси подразумевает использования ими всего ресурсного потенциала богатого разнообразия флоры, а для некоторых видов животного мира и представителей фауны.

Природно-климатические условия Беларуси не в состоянии в одинаковой степени обеспечить равномерный уровень присутствия кормовой базы на протяжении всех периодов года. Как правило, именно осенне-зимне-весенний периоды являются наиболее сложными в жизни диких зверей и птиц. Особенно сложно приходится зверям, которые ведут в этот период активный образ жизни и птицам, решившимся остаться на зимовку.

Как раз сельскохозяйственные культуры, возделываемые в Беларуси, и являются тем недостающим звеном в кормовых рационах диких зверей и птиц. Поля, засеянные зернобобовыми злаками, корнеклубнеплодами, кормовыми травами охотно посещаются дикими представителями фауны. Особенно это актуально в уже названный ранее период осенне-зимне-весенних сезонов, когда кормовая база в природной среде становится скудной. Сельхозугодья почти всегда, располагают определенной частью не убранных урожая, который, по объективным и не объективным причинам остается на полях и который, как никогда, кстати, приходится диким животным [1; 2].

Посещение представителями диких видов копытных и пернатых животных сельскохозяйственных посевов является обычным и привычным для них моментом на протяжении всех сезонов. Однако, последние годы, в связи с мировым потеплением климата, некоторые виды

диких пернатых, в том числе и водоплавающие птицы, все чаще стали предпочитать зимовку на водоемах Беларуси – миграциям в страны, где на протяжении веков они пережидали неблагоприятный период [3; 4].

Минимальное количество кормовых ресурсов на незамерзающих водоемах вынуждают эти виды птиц посещать сельскохозяйственные угодья в поисках семян зерновых культур и остатков неубранного урожая.



Семена кукурузы и зерновые отходы в пищеводе водоплавающих птиц добытых на территории Минской области (Фото Ю.Г. Ляха, 16.10.2021 - 10.08.2024 г.г.)

В последние годы численность водоплавающих птиц, остающихся зимовать Беларуси, возрастает. Только количество зимующих лебедей с 2011 года насчитывалось от 360 до 720 птиц. И уже в 2020-2025 годах, в Беларуси зимует от 720 до 2080 особей лебедей ежегодно. Причинами этого стали климатические условия – зимы становятся теплее, водоемы не замерзают, в этой связи лебеди и другие водоплавающие имеют постоянный доступ к воде и пище [5].

Одновременно наряду с лебедями в Беларуси остаются на зимовку более 20 видов водоплавающих птиц. В нынешнем холодном сезоне (2025-2026 гг.) учеными Научно-практического центра НАН Беларуси по биоресурсам зафиксировано 27 видов водоплавающих и околоводных птиц, зимующих в Минске и Минском районе.

Основная пища водоплавающих птиц – водоросли. И она доступна пока водоем не покрылся толстой коркой льда. Жировые запасы – это естественный утеплитель, который помогает птице перенести низкие температуры. При наступлении морозов все силы птица тратит на энергосбережение и поддержание тепла. Снижение кормовых запасов на водоемах в зимние месяцы вынуждает водоплавающих, в том числе и лебедей, которые еще с осени приспособились посещать сельхоз угодья, улетать туда на кормежку.

Беларусь в последние два десятилетия преодолела рубеж, при котором встреча в дикой природе с представителями охотничьих видов зверей и птиц было событием. Это означает, что в результате планомерной работе на строго научных методах учета животных, технологических, охранных мероприятиях, проведением нормированных охот – все это позволило достичь значительных успехов в увеличении численности диких зверей и птиц в Республике Беларусь.

Численность диких животных в природной среде в основном зависит от кормности угодий их обитания, мест гнездования для птиц и укромных мест для появления потомства и дальнейшего его сохранения для диких зверей.

Рациональная работа по регулированию естественных хищных животных, так же имеет не маловажное значение для сохранения и увеличения численности диких видов охотничьих (ресурсных) животных. На сегодняшний период, в Беларуси, наметилась устойчивая тенден-

ция увеличение численности ресурсных видов зверей и птиц, в том числе и за счет использования ими кормовой базы сельскохозяйственных предприятий.

Библиографические ссылки

1. Лях Ю. Г., Капская А. С., Леждей М. Ю. Трофическая роль сельскохозяйственных культур в поддержании численности охотничьих видов животных в Беларуси // Международная конференция «Наука в современном мире», Нефтекамск, 9 февраля 2021 года. С. 68–71.

2. Лях Ю. Г., Леждей М. Ю., Капская А. С. Роль технологических потерь сельскохозяйственных культур в поддержании популяций диких зверей и птиц Беларуси / // XXV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства». г. Горки, 18-20 мая 2022. С.116–120.

3. Лях, Ю. Г Мелюх. О. В., Некрасова Т. В. Значение сельскохозяйственных культур в сохранении численности охотничьих животных в Беларуси // VIII Международная научно-практическая конференция «Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий» г. Рязань, 21 марта 2024 г. С. 175–179.

4. Роль сельскохозяйственных культур в весенний период обитания кряквы обыкновенной (*Anas platyrhynchos*) / Ю. Г. Лях [и др] // XXVII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства». г. Горки, 23-24 мая 2024. С. 268–272.

5. Лях, Ю. Г. Климашевский В. Ю., Апанович А. В. Роль сельскохозяйственных культур в биологии лебедя-шипуна в Беларуси // VIII-я Международная научно-практическая конференция «Зоологические чтения. 2023», посвященной памяти выдающегося зоолога, доктора биологических наук, В. Н. Шнитникова. 26–28 марта 2025 года, Гродно. С. 182–184.

БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕНДРОФЛОРЫ ГОРОДА ДАШОГУЗ (СЕВЕРНЫЙ ТУРКМЕНИСТАН)

О. В. Нилова¹⁾, Б. Салыева¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, olga.n.1978@mail.ru

Данная статья посвящена биоморфологическому анализу дендрофлоры г. Дашогуз, расположенного на севере Туркменистана. Исследование проводилось путем маршрутного метода в пределах жилой части города, всего было обнаружено и проанализировано 74 вида растений из 28 семейств. Биоморфологический анализ показал, что основную часть дендрофлоры составляют деревья – 41 вид (55,4 %) и кустарники – 18 видов (24,3 %). Ведущие семейства – Rosaceae, Salicaceae, Fabaceae, Cupressaceae, Moraceae, Aceraceae, Bignoniaceae, Ulmaceae, Elaeagnaceae, Pinaceae, Oleaceae, Berberidaceae. В экологическом спектре дендрофлоры преобладают – мезофиты.

Ключевые слова: видовой состав; семейства растений; древесные насаждения; жизненные формы; дендрофлора.

BIOMORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE DENDROFLORA OF DASHOGUZ (NORTHERN TURKMENISTAN)

O. V. Nilova¹⁾, B. Salyeva¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, olga.n.1978@mail.ru

This article is devoted to the biomorphological analysis of the dendroflora of the city of Dashoguz, located in the north of Turkmenistan. The study was conducted using a route method within the residential area of the city; a total of 74 plant species from 28 families were identified and analyzed. Biomorphological analysis revealed that the dendroflora is dominated by trees – 41 species (55,4 %) and shrubs – 18 species (24,3 %). The leading families are Rosaceae, Salicaceae, Fabaceae, Cupressaceae, Moraceae, Aceraceae, Bignoniaceae, Ulmaceae, Elaeagnaceae, Pinaceae, Oleaceae, Berberidaceae. In the ecological spectrum of dendroflora, mesophytes predominate.

Keywords: species composition; plant families; woody plants; life forms; dendroflora.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-249-252>

В современных условиях динамичного развития городских пространств особую актуальность приобретает проблема экологизации городского пространства, формирования благоприятной среды обитания посредством внедрения систем озеленения.

Озеленение территории выступает не просто как декоративный элемент городского пространства, но и как фундаментальный компонент благоустройства, обеспечивающий экологическое равновесие и комфортность проживания городского населения. При этом особое внимание уделяется вопросам приспособления растительных культур к особенностям урбанизированной среды и их способности противостоять антропогенным нагрузкам [1].

Возрастание значения антропогенного воздействия на природу становится все более ощутимым в современном мире, поэтому изучение городской дендрофлоры с целью улучшения проводимых озеленительных работ на научной основе, в отдельных регионах, таких как г. Да-

шогуз в северном Туркменистане, приобретает особую актуальность. Исследуемый регион расположен в зоне пустынного климата (сухая погода в вегетационный период, знойное лето и высокая степень засоленность почвы), что определяет специфические условия для произрастания древесных растений [2].

Цель исследования – биоморфологический анализ древесных насаждений г. Дашогуз, на севере Туркменистана. Объектами исследования являются зеленые насаждения центральной части города.

Городская флора представлена участками естественной растительности, так и искусственными посадками. Обследование проводилось в вегетационный период маршрутно-визуальным методом с количественным подсчетом экземпляров в пределах селитебной части города.

В ходе проведения обследования озелененных территорий центральной части Дашогуза, установлено, что основу зеленых насаждений составляют покрытосеменные растения (92,0 % от общего количества). Дендрофлора центральной части Дашогуза насчитывает 28 семейств, 32 рода и 74 вида (табл. 1) [3].

Таблица 1

Систематическая структура флоры зеленых насаждений г. Дашогуз

Отдел растений	Количество семейств, шт.	Количество родов, шт.	Количество видов	
			шт.	% от общего числа
Голосеменные	2	5	6	8,1
Покрытосеменные	26	27	68	91,9
Всего	28	32	74	100

Наиболее распространёнными видами деревьев и кустарников, составляющих дендрофлору центральной части города являются виды из семейства *Rosaceae* (15 видов), *Salicaceae* (7 видов), *Fabaceae* (6 видов), *Cupressaceae* (4 вида), *Moraceae*, *Aceraceae*, *Bignoniaceae* по 3 вида соответственно, *Ulmaceae*, *Elaeagnaceae*, *Pinaceae*, *Oleaceae*, *Berberidaceae* по 2 вида соответственно (рис. 1).

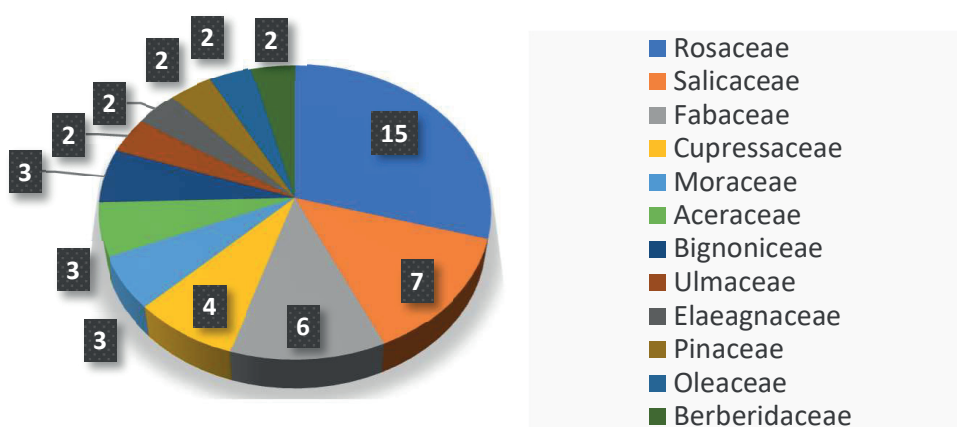


Рис. 1. Спектр ведущих семейств исследуемой территории, количество видов, шт

Кроме вышеперечисленных ведущих семейств на исследуемой территории, также были определены виды древесно-кустарниковых растений с минимальным видовым разнообразием: *Sapindaceae*, *Lamiaceae*, *Juglandaceae*, *Rubiaceae*, *Fagaceae*, *Grossulariaceae* и др.

В ходе биоморфологического анализа дендрофлоры центральной части Дашогуза, который проводился по методике, разработанной Серебряковым (1962), было выделено 5 категорий жизненных форм (табл. 2).

Таблица 2

Жизненные формы видов зеленых насаждений центральной части г. Дашогуз

Жизненная форма	Количество видов	% от общего числа видов
Дерево	41	55,4
Кустарник	18	24,3
Кустарничек	5	6,8
Трава	8	10,8
Лиана	2	2,7
Всего	74	100

Из приведенных выше данных следует, что наибольшее видовое разнообразие характерно для деревьев (41 вид – 55,4 %). Второе место по видовому разнообразию занимают кустарники – 18 видов (24,3 %), небольшую часть занимают травы – 8 видов (10,8 %). Кустарнички представлены 5 видами (6,8 %) и меньше всего лианы – 2 вида (2,7 %) (рис. 2).

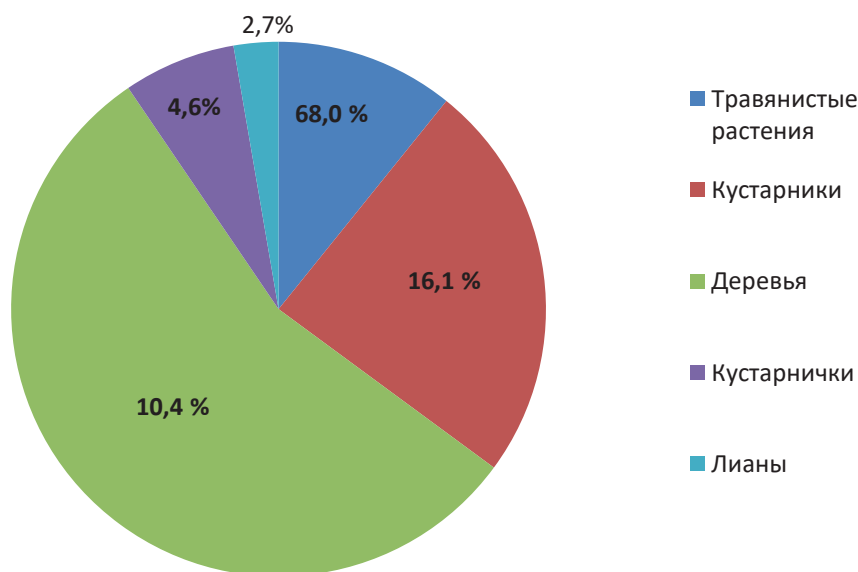


Рис. 2. Биоморфы древесно-кустарниковых растений Дашогуза

Экологический анализ структуры зеленых насаждений центральной части Дашогуза показал, что большинство деревьев и кустарников – 82,0 % дендрофлоры города, относятся к мезофитам, которые растут в условиях умеренной влажности. Около 12,0 % флоры отнесены к гигрофитам, произрастающих по бережьям водоемов. Засухоустойчивых ксерофитных видов древесно-кустарниковых растений на обследованной территории – 6,0 %. Анализ видов флоры по отношению к свету показал, что 80,4 % видов дендрофлоры отнесены к светолюбивым и только 19,6 % к тенелюбивым видам.

В соответствии с потребностями к питательным веществам почвы около 67,4 % изучаемых растений были отнесены к группе требовательным к питательным веществам, около 30,3 % – средне и 2,3 % малотребовательными к питательным веществам видами.

Таким образом, в результате обследования зеленых насаждений центральной части г. Дашогуз установлено, что в озеленении используется ограниченный ассортимент древесно-кустарниковых растений, причиной чего являются природно-климатические условия города. Для пополнения дендрофлоры города необходимо увеличить количество видов, интродуцируемых из других климатических зон способных адаптироваться к местным почвенно-климатическим условиям и ландшафтным особенностям города.

Важными показателями адаптации древесных растений к условиям города будут: устойчивость растений к высоким температурам и низкой влажности, к действию солей, промышленных газов и пыли, к патогенным организмам, способность снижать шумовой фон города и др.

Библиографические ссылки

1. Флора Туркменистана. URL: <https://www.advantour.com/rus/turkmenistan/nature/flora> (дата обращения: 27.12.2025).
2. Деревья и кустарники в озеленении населенных мест северного и западного Туркменистана. Труды Туркм. Бот сада. А.: 1956. Вып. 2.
3. *Никитин В. В., Гельдиханов А. М.* Определитель растений Туркменистана. Л.: Наука, 1988. 680 с.

ФИЗИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА КАК СРЕДСТВО СНИЖЕНИЯ СТРЕССА: МНЕНИЕ СТУДЕНТОВ

О. Н. Онищук¹⁾, М. М. Круталевич¹⁾, К. С. Бельчина¹⁾, В. С. Гадуцевич¹⁾,
П. Г. Сыманович¹⁾, В. А. Овсянкин¹⁾, Н. А. Гришанович¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, olesyao1980@mail.ru

В статье рассматривается влияние физической нагрузки на физиологическое и психоэмоциональное состояние организма студентов. Актуальность темы обусловлена высокой интенсивностью современной жизни, особенно в студенческой среде, где учебные нагрузки и дефицит времени являются постоянными факторами напряжения. В работе проанализированы результаты анкетирования студентов МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, выявлено субъективное восприятие стресса студентами, а также роль физической активности как средства нивелирования негативных влияний на психоэмоциональное состояние организма.

Ключевые слова: стресс; физическая нагрузка; студент; здоровье; заболевание; сон.

PHYSICAL ACTIVITY AS A MEANS OF STRESS REDUCTION: STUDENTS' OPINIONS

O. N. Onishchuk¹⁾, M. M. Krutalevich¹⁾, K. S. Belchina¹⁾, V. S. Gadutcevich¹⁾,
P. G. Symanovich¹⁾, V. A. Ovsyankin¹⁾, N. A. Grishanovich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, olesyao1980@mail.ru

This article examines the impact of physical exercise on the physiological and psychoemotional state of students. The relevance of this topic is due to the high intensity of modern life, especially among students, where academic workload and time pressure are constant stressors. This paper analyzes the results of a survey of students at the A.D. Sakharov International State Ecological Institute. Sakharov BSU identified students' subjective perceptions of stress, as well as the role of physical activity as a means of mitigating negative impacts on the body's psychoemotional state.

Keywords: stress; physical activity; student; health; illness; sleep.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-253-256>

Стресс стал неотъемлемой частью жизни современного человека, превратившись в большинстве своем из временного явления в хроническое состояние существования. Особенно уязвимой к постоянному психологическому давлению прежде всего является молодежь, участвующая в образовательном процессе. Обучение в учреждениях высшего образования представляет для студентов комплексный стрессор, воздействующий на психоэмоциональную и соматическую сферы. Физическая культура как обязательная дисциплина в учреждениях образования направлена на укрепление здоровья и нивелирование негативного воздействия на организм. Однако эффективность этого инструмента напрямую зависит от исходного состояния здоровья студентов и их психофизиологических ресурсов.

Цель исследования: изучить мнение студентов относительно использования физической нагрузки как средства снижения стресса (тревожности). Проанализировать не только личное

восприятие стресса респондентами, но и его объективные показатели: продолжительность сна, структура заболеваемости, отношение студентов к физической культуре как к значимому средству снижения уровня стресса.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследования был использован метод анкетирования. В опросе приняли участие студенты учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ) различных специальностей и курсов. Анкеты были распространены в формате онлайн опроса. Собранные данные были проанализированы с помощью программного обеспечения для статистического анализа.

В анкетировании приняли участие студенты 1–3 курсов, общее количество которых составило 174 человека, из них 133 девушки и 41 юноша. Распределение респондентов по курсам следующее: 1 курс – 44,8 %, 2 курс – 39,7 %, 3 курс – 15,5 %.

Согласно результатам опроса к основной и подготовительной группам здоровья относятся в равной степени по 35,1 % студентов, 23,6 % респондентов – студенты специальной медицинской группы и 6,2 % – лечебной физической культуры. Это свидетельствует о том, что большинство студентов имеют ограничения, требующие щадящего или корректирующего подхода в физическом воспитании.

При ответе на вопрос «Какое у Вас основное заболевание?» примерно у 39,7 % респондентов имеются заболевания органов зрения, у 37,9 % – опорно-двигательного аппарата, а также примерно у одинакового количества обучающихся имеются заболевания желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы (по 14,4 % соответственно), примерно у 8,6% – неврологические и психические расстройства. По сравнению с ранее проведенными исследованиями по данному вопросу у анкетировавшихся нами студентов наблюдается незначительный рост неврологических и психических расстройств [1]. Интересно, что только 28,7 % студентов выбрали позицию «здоров» (таблица), несмотря на то, что 35,1 % анкетировавшихся относятся к основной группе по здоровью, то есть относительно здоровые (см. выше), и только 28,7 % не жалуются на самочувствие. Это значит, что 6,4 % имеют проблемы со здоровьем, но не обследуются или не обращаются к врачу.

Состояние здоровья респондентов

Состояние организма	Количество студентов, %
Здоров	28,7
Заболевания органов зрения	39,7
Заболевания опорно-двигательного аппарата	37,9
Заболевания желудочно-кишечного тракта	14,4
Заболевания сердечно-сосудистой системы	14,4
Неврологические и психические расстройства	8,6
Заболевания органов дыхания	7,5
Эндокринные и обменные нарушения	3,4
Другие заболевания	9,8

Согласно исследованию, при стрессе не испытывают никаких физиологических симптомов только 16,1 % анкетировавшихся студентов. Остальные респонденты выбирали варианты (возможно было несколько) физических симптомов, связанные с эмоциональным напряжением, стрессом. Так, 64,2 % респондентов жалуются на головные боли и мигрени, 42,0 % испытывают напряжения в шеи, спине, а примерно у 40,0 % студентов наблюдается вегетососудистая симптоматика (скачки артериального давления, тахикардия, боли в желудке, головокружения

и т. п.). Это явление закономерно: стресс вызывает мышечные зажимы, что особенно критично для тех, кто уже имеет проблемы со здоровьем. В таких случаях может возникать порочный круг: стресс приводит к мышечным спазмам, которые, в свою очередь, усиливают болевые ощущения и способствуют дальнейшему увеличению уровня стресса и ухудшению самочувствия. Подобные симптомы не только ухудшают качество жизни, но и могут приводить к серьезным последствиям для здоровья. Эти проявления подчеркивают необходимость более внимательного отношения к своему психоэмоциональному состоянию, здоровью.

Если прислушаться к мнению студентов, то можно сделать вывод, что такая негативная ситуация, как правило, объясняется ими неполноценным сном, хроническим недосыпанием. По итогам анкетных данных установлено, что более половины анкетированных студентов (65 %) отметили, что страдают от недосыпания, из них 57,7 % спят 5–7 часов в сутки, а 7,5 % – менее 5 часов. Таким образом, полученные результаты могут указывать на один из факторов отрицательного психоэмоционального влияния на организм человека. Ведь, по мнению исследователей, недосыпание является мощным так называемым физиологическим стрессором. Дефицит сна делает психику уязвимой, усиливая тревожность и раздражительность. Полноценный же сон позволяет мозгу эффективно перерабатывать накопленные за день стрессовые состояния и снижать остроту негативных эмоций, поскольку во время ночного отдыха организм активно снижает уровень кортизола и восстанавливает ресурсы центральной нервной системы. Следовательно, регулярный полноценный и глубокий сон служит своеобразным защитным барьером, который повышает стрессоустойчивость, помогает сохранять ясный ум и спокойствие даже в сложных жизненных ситуациях [2].

Также отмечено, что стрессовые состояния для студентов снижаются в каникулярный период, когда появляется возможность для полноценного отдыха. При оценке уровня стресса за последний месяц (февраль 2026 г.) выявлено, что только у 1/3 студентов субъективно его уровень низкий и ниже среднего (9,8 % и 22,4 % соответственно), средний – у 41,4 %, выше среднего – у 20,7 %, высокий – у 5,7 % респондентов. Следует учитывать, как отмечалось, что значительных эмоциональных и интеллектуальных нагрузок студенты не имеют, поскольку в первой декаде февраля заканчиваются каникулы и начинается семестр.

Среди факторов, способствующих успешной адаптации к психологически сложной ситуации в период образовательного процесса, студенты в большинстве своем не случайно отмечают занятие физической культурой и спортом. Общеизвестно, что физические нагрузки способствуют выработке эндорфинов – гормонов счастья, которые улучшают настроение и снижают уровень тревожности. Даже короткая тренировка может значительно повысить уровень энергии и улучшить общее самочувствие. Студенты, которые регулярно занимаются спортом, отмечают, что физическая активность помогает им легче справляться с учебными нагрузками и эмоциональными переживаниями [3]. Занятия спортом также помогают студентам наладить социальные связи и укрепить дружеские отношения. Совместные тренировки создают атмосферу поддержки и взаимопомощи, что особенно важно в период стресса. Общение с единомышленниками во время физической активности позволяет отвлечься от учебных забот и сосредоточиться на положительных эмоциях. Несмотря на осознание пользы физических нагрузок, многие студенты сталкиваются с трудностями в их регулярном выполнении. Неумение грамотно распределить свое личное время и усталость после занятий становятся серьезными препятствиями. Однако важно понимать, что даже небольшие физические нагрузки, такие как прогулки на свежем воздухе или короткие тренировки дома, могут значительно улучшить настроение и снизить уровень стресса.

Далее нас интересовало отношение студентов к физической нагрузке, тренировке как средству, повышающему стрессоустойчивость. Как выяснилось, примерно половина студентов тренируются для того, чтобы успокоиться (47,9 %), однако 40,5 % опрошенных не занимаются вообще, то есть не используют оздоровительный потенциал физических упражнений.

При этом 10,9 % студентов указывают, что тренировка не помогает им снять стресс. В указанном случае, вероятно, неверно подобрана нагрузка или направленность физических упражнений. Поэтому в следующем вопросе анкеты мы выясняли, какая физическая нагрузка помогает студентам снимать стресс. Большинство студентов (81,0 %) выбрали нагрузку аэробного характера (длительная ходьба, бег, плавание, езда на велосипеде и т. д.), что соответствует рекомендациям специалистов. Часть студентов (18,6 %) предпочитают силовые тренировки как средство снижения уровня стресса, только один человек (0,6 %) – смешанный характер нагрузок, аэробно-анаэробный.

На вопрос «Становится ли Вам психологически легче после тренировок?» 28,8 % респондентов ответила «да, почти всегда», 37,9 % выбрали позицию «иногда», 24,7 % – не тренируются, а 8,6 % указали, что субъективно становится хуже, т. к. сильно устают. Последнее, вероятно, связано с низким уровнем физической подготовленности и отсутствием систематических физических нагрузок у данных респондентов.

Основная причина, мешающая заниматься физической культурой чаще, является усталость: 42,2 % студентов отмечают, что у них просто нет сил после учёбы. Далее примерно у такого же количества студентов причинами является лень и стеснение, а также отсутствие времени; 7,5 % считают, что им не нужны более частые занятия физическими упражнениями, а остальные студенты не могут заниматься по другим причинам. Это подтверждает, что студенты часто испытывают усталость и стресс, а данное состояние мешает им заниматься физической культурой.

Заключение. Таким образом, результаты анкетирования позволили установить, что примерно 1/3 анкетированных не имеют отклонения в состоянии здоровья. Тем не менее при стрессе только 1/8 часть студентов не испытывают значимых физиологических симптомов. Больше половины респондентов имеют хроническое недосыпание, что может неблагоприятно сказаться на их стрессоустойчивости и состоянии здоровья в целом. Важную роль в жизни студентов играет физическая активность, помогая им справляться со стрессом и улучшать общее самочувствие. При этом большинство студентов используют нагрузку аэробной направленности, что не требует значительной физической подготовленности. Однако часть студентов не используют здоровьесберегающий потенциал физических упражнений в плане снижения воздействий стрессовых факторов.

Библиографические ссылки

1. Влияние жизненных реалий на здоровье студенческой молодежи / О.Н. Онищук [и др.]// Сахаровские чтения 2025 года: экологические проблемы XXI века: материалы 25-й международной научной конференции, 22–23 мая 2025 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 (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2025. Ч. 2. С. 390–394. (статья в печатных материалах конференции, более 3-х авторов).

2. Горбунова Н. А. Влияние физической активности на эмоциональное состояние студентов / Научный вестник/ 2018. №4. С.112–118. (статья в печатном журнале, 1 автор)

3. Коваленко,И. В., Лебедев, А. Н. (2019). Роль физической активности в профилактике стресса у студентов // Психология и педагогика. 2019. 3. С.88–93. (статья в печатном журнале, 2 автора).

РАЗРАБОТКА И ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ «НЕВИДИМЫЕ ГЕРОИ»

Ю. А. Поливкина¹⁾, В. И. Гаврилов¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kfse@iseu.by

В настоящей статье представлена интерактивная игра «Невидимые герои», являющаяся интерактивной платформой, посвящённой истории советского подполья на территории БССР в годы Великой Отечественной войны. Создан и анализируется цифровой образовательный ресурс, сочетающий визуализированную историческую карту, элементы настольной игры и мультимедийные задания, ориентированные на новое поколение учащихся, позволяющие добиться улучшения восприятия исторического материала, благодаря геймификации и привычному цифровому формату.

Ключевые слова: интерактивная карта-игра; Великая Отечественная война; цифровой образовательный ресурс.

DEVELOPMENT AND EDUCATIONAL POTENTIAL OF THE INTERACTIVE MAP “INVISIBLE HEROES”

Y. Polivkina¹⁾, V. Haurylau¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kfse@iseu.by

This article presents the interactive game “Invisible Heroes”, an interactive platform dedicated to the history of the Soviet underground in the Byelorussian SSR during the Great Patriotic War. A digital educational resource has been created and is being analyzed, combining a visualized historical map, elements of a board game, and multimedia tasks aimed at a new generation of students, allowing for improved perception of historical material thanks to gamification and a familiar digital format.

Keywords: interactive map game; Great Patriotic War; digital educational resource.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-257-260>

Сохранение исторической памяти о подвиге белорусского народа в борьбе с немецко-фашистскими оккупантами в годы Великой Отечественной войны, требует внедрения инновационных методов и форм передачи знаний о героизме борцов с фашизмом подрастающему поколению. В связи с этим возникает необходимость разработки передовых цифровых платформ, которые смогут более эффективно и зрелищно представить исторические материалы. Хотя традиционные форматы остаются полезными, они уже не в состоянии полностью удовлетворить спрос пользователей на быстрый доступ к актуальной информации. На помощь приходят динамические карты – мощные инструменты, которые меняют наше восприятие и расширяют возможности использования данных.

Интерактивная карта-игра – это специализированный тип динамической карты, объединяющий функции пространственной визуализации, игровые механизмы и образовательный контент. В отличие от классической динамической карты, которая в большинстве случаев служит для наблюдения и анализа объектов в пространственно-временном контексте, интерактивная карта-игра добавляет элемент сюжетного повествования.

Главным плюсом данного формата является интеграция значительных объемов исторической информации с интерактивными элементами, что позволяет эффективнее передавать контент новому поколению пользователей. Визуальные иллюстрации и игровые задания помогают лучшему пониманию представленных данных, а возможность взаимодействия с картой значительно увеличивает шансы на глубокое восприятие и усвоение информации и решению таких задач как: углубление знаний учащихся – карта содержит обширный контент о структуре подполья, местах проведения операций и судьбах конкретных героев, что позволяет детально изучить каждый аспект сопротивления; формирование навыков анализа исторических данных – благодаря интерактивным элементам пользователи могут самостоятельно исследовать карту, реконструировать ход событий, сравнивать данные из разных источников и оценивать масштабы подпольной борьбы на территории Беларуси; увеличение интереса к изучению истории – игровой формат обеспечивает вовлеченное обучение, выполняя задания, пользователь погружается в контекст эпохи, что стимулирует познавательную активность и способствует лучшему запоминанию материала; освещение масштаба героизма участников – интерактивный формат позволяет отразить личный вклад подпольщиков, показать их успехи и значение их деятельности для общей победы через конкретные истории и задания; внедрение элементов инновационного подхода к изучению истории – использование игровых динамических карт больше подходит для цифрового поколения, делая изучение истории более доступным и соответствующим современным форматам усвоения информации; междисциплинарности применения – проект может быть использован не только в школьном и вузовском образовании, но также в музейной педагогике, системе дополнительного образования, патриотических клубах, а его методическая часть – в педагогике, истории и культурологии.

Отсюда видно, что интерактивные карты-игры выступают важным инструментом для решения исследовательских, образовательных и воспитательных задач, способствуя более глубокому пониманию сложных исторических процессов через синтез пространственных данных, игровых механик и эмоционального воздействия.

Интерактивная карта-игра подготовлена с учетом информации, содержащейся в монументальных трудах директора Института истории НАН Беларуси А. А. Ковалени [1]; декана исторического факультета БГУ А. Г. Кахановского [2]; а также видных специалистов по истории минского партийного подполья Л. В. Аржаевой, В. И. Гуленко, И. М. Игнатенко [3].

Для реализации проекта был использован онлайн-сервис Genially – одна из самых современных и удобных платформ для создания интерактивных карт, презентаций и мультимедийных образовательных ресурсов. Выбор данного инструмента обусловлен его функциональной универсальностью, интуитивно понятным интерфейсом и широкими возможностями интеграции различных видов контента.

Genially предоставляет следующие ключевые возможности, которые сделали его идеальным инструментом для создания динамической карты: платформа позволяет добавлять текст, изображения, видеоматериалы, интерактивные элементы и гиперссылки, что значительно расширяет возможности для представления сложной информации; простота в использовании – интуитивный интерфейс платформы делает процесс создания карты доступным даже для пользователей без профессиональных навыков дизайна, что сокращает время на техническую реализацию проекта; доступность контента – готовые проекты легко распространяются через ссылки, обеспечивая доступ к материалу для широкой аудитории без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

Для разработки интерактивных заданий и вопросов, сопровождающих карту, использовался специализированный сервис LearningApps.org. Этот инструмент позволяет создавать разнообразные образовательные активности, включая тесты, головоломки, задания на сопоставление и многое другое. Его использование было обусловлено следующими преимуществами: сервис предлагает широкий выбор интерактивных упражнений, которые можно адаптировать

под специфику исторической темы; задания создаются в несколько этапов с минимальными временными затратами, а их выполнение не требует сложных инструкций от пользователя; интерактивные элементы способствуют индивидуализации процесса обучения, предоставляя учащимся возможность работать в собственном темпе; созданные задания легко встраиваются в динамическую карту на Genially, что позволяет добиться единства представления информации.

Использование данных платформ обеспечило высокий уровень наглядности, интерактивности и пользовательской доступности проекта, что делает его особенно эффективным в образовательной среде. Такой подход не только упрощает процесс восприятия информации, но и стимулирует активное участие учащихся, способствуя более глубокому освоению темы.

Разработанная интерактивная карта-игра представляет собой цифровой образовательный продукт, посвящённый истории советского подполья на территории БССР в годы Великой Отечественной войны. Она сочетает в себе элементы исторической карты, настольной игры и мультимедийных заданий, что позволяет изучать материал в активной и вовлекающей форме. При запуске пользователь видит стилизованную карту территории Беларуси периода фашистской оккупации. Карта выполняет одновременно информационную и игровую функцию: на ней обозначены старт и финиш, маршрут передвижения, а также станции разных типов, выделенные цветом. Такое визуальное решение помогает сразу понять логику игрового пространства и ориентироваться в структуре заданий.

Игра рассчитана на участие от двух до пяти человек. Передвижение осуществляется с помощью виртуального броска игровой кости, а основная цель заключается в том, чтобы первым достичь финиша и при этом набрать наибольшее количество баллов. То есть, значение имеет не только скорость продвижения, но и правильность выполнения заданий. Количество станций на карте строго определено: десять жёлтых, восемь фиолетовых, шесть чёрных, четыре зелёных и две красные. Жёлтые станции включают вопросы базового уровня сложности: правильный ответ приносит один балл, а ошибка приводит к возврату на две клетки назад без начисления очков. Синие станции предполагают задания повышенной сложности и оцениваются в два балла, однако при неверном ответе игрок возвращается на четыре клетки назад. Зелёные станции носят поощрительный характер и автоматически добавляют один балл, а чёрные, наоборот, являются штрафными и приводят к потере одного балла. Красные станции открывают этап суперигры, участие в котором возможно только при наличии четырёх баллов.

Особое значение имеют фиолетовые станции, так как именно они направлены на более глубокое освоение исторического материала. Первый тип заданий связан с угадыванием участников подпольного движения: игроку предлагается текст от первого лица, описывающий биографию героя, после чего необходимо по буквам ввести его имя. При правильном вводе буквы она автоматически появляется во всех соответствующих местах, что облегчает дальнейшее распознавание личности, а при ошибке уменьшается количество условных символов на экране. Второй тип заданий предполагает работу с видеоматериалами: в игровом окне размещается ссылка на документальный фильм с краткой аннотацией, после просмотра которого участник отвечает на вопрос по содержанию. Такой формат развивает навыки анализа исторических источников. Третий тип заданий направлен на установление соответствий между памятниками, героями белорусского подполья и их именами. Пользователю предлагаются изображения памятников и портреты участников подпольного движения, которые необходимо корректно соотносить с историческими именами. Данный вид заданий формирует визуально-историческую память и способствует закреплению знаний о персоналиях и местах памяти. Дополнительные визуальные элементы, такие как газетные вырезки советского периода и патриотические плакаты военных лет, используются исключительно в декоративных целях.

Они усиливают атмосферу эпохи, не являясь частью игровых заданий, и выполняют функцию исторического фона, способствующего эмоциональному погружению пользователя в изучаемый период.

Финальный этап игры включает два задания. Первое реализовано в формате «Правда или ложь»: при правильном распределении утверждений открывается скрытое изображение, имеющее символическое значение. Второе представляет собой мини-игру из пяти вопросов; при допущении ошибки этап необходимо пройти заново, что требует внимательности и сосредоточенности.

Таким образом, структура интерактивной карты-игры выстроена способом, сочетающие игровые механики с образовательным содержанием, обеспечивая последовательное и осмысленное освоение истории советского подполья на территории БССР в годы Великой Отечественной войны в современной цифровой форме.



Интерактивная карта-игра «Невидимые герои»

Библиографические ссылки

1. Великая Отечественная война советского народа / Коваленя А. А. [и др.] // учеб. пособие под ред. А. А. Ковалени. Минск: Изд. центр БГУ, 2022. 246 с.: ил., карт.
2. Память о Великой Победе в современном историческом дискурсе: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Минск, 18 апр. 2025 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А. Г. Кохановский (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2025. С. 178–183.
3. Минское партийное подполье / Л. В. Аржаева [и др.] // Беларуская энцыклапедыя : сайт. Минск, 2023. URL: <https://belarusenc.by/temy/belarusinsecwar/1238/> (дата обращения: 20.02.2026).

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГИОНАЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Ю. В. Сидоренко¹⁾

¹⁾ ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», ул. Молодогвардейская, 244, 443100, г. Самара, Российская Федерация, sm-samgasa@mail.ru

Внедрение принципов энерго- и ресурсосбережения позволяет изготавливать качественные и долговечные бетоны с применением регионального техногенного экологически безопасного сырья, как, например, отсеvy дробления осадочных карбонатных пород, которые ежегодно накапливаются в отвалах. Применение таких минеральных компонентов в сочетании с химическими добавками позволяет добиться оптимизации удобоукладываемости и снижения расхода мелкого природного песка при изготовлении мелкозернистых бетонов классов по прочности В15-В20, соответствующих требованиям нормативных документов для общестроительного и дорожного назначения.

Ключевые слова: экологическая безопасность; техногенное сырье; отсеvy дробления; мелкозернистые бетоны.

FINE-GRAINED CONCRETE USING REGIONAL TECHNOGENIC RAW MATERIALS

Yu. V. Sidorenko¹⁾

¹⁾ Samara State Technical University, Molodogvardeyskaya str., 244, 443100, Samara, Russian Federation, sm-samgasa@mail.ru

The introduction of energy and resource saving principles makes it possible to produce high-quality and durable concrete using regional technogenic, environmentally friendly raw materials, such as screenings from the crushing of sedimentary carbonate rocks that accumulate annually in dumps. The use of such mineral components in combination with chemical additives makes it possible to optimize workability and reduce the consumption of fine natural sand in the production of fine-grained concrete of strength classes B15-B20, which meet the requirements of regulatory documents for general construction and road use.

Keywords: environmental safety; technogenic raw materials; crushing screenings; fine-grained concrete.
<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-261-264>

Современное региональное производство строительных материалов базируется в основном на применении, как местного природного минерального сырья, так и техногенных продуктов, являющихся отходами горнодобывающих и перерабатывающих неорганических производств, топливно-энергетического и строительного комплексов, и т. д. [1–4].

В Самарской области происходит постепенное истощение природных сырьевых ресурсов для производства цементсодержащих материалов (например, для мелкозернистых бетонов (МЗБ) общестроительного и дорожного назначения, проведения ремонтных, декоративно-отделочных работ и др.). В связи с этим актуально использование в бетонных составах отсеvов дробления и переработки местных карбонатных осадочных пород (доломитовая мука фр. 0-10 мм), применение которых не только способствует утилизации техногенных отходов в строительном производстве и улучшает экологическую обстановку в регионе, но также положительно влияет на усовершенствование отдельных физико-механических показателей [5–9].

При изготовлении и последующей эксплуатации любой строительной продукции необходимо принимать во внимание не только стандартные строительно-технические требования, но и экологические показатели. Содержание радионуклидов (торий Th-232, калий K-40, радий Ra-226) в строительном сырье и материалах регламентируется ГОСТ 30108-94 [5]. Природные горные породы, благодаря своему генезису, характеризуются естественной радиоактивностью. Критерием, позволяющим оценить возможность применения сырьевых компонентов, а также строительных материалов и изделий на их основе, является удельная эффективная активность естественных радионуклидов (Аэфф), данный показатель не должен превышать 370 Бк/кг (для I класса по радиационной безопасности) [5]. На предприятиях отсева дробления местных карбонатных пород дополнительно не обогащаются и не очищаются, поэтому их рационально применять в МЗБ невысоких марок.

Рассмотрено влияния отсева дробления карбонатных пород, выработанных на АО «Сокское карьероуправление» (Самарская обл.), на свойства МЗБ при частичной замене мелкого самарского волжского природного песка.

Применялись:

– портландцемент ЦЕМ I 32,5Б (ООО «Ачинский цемент», Красноярский край) по ГОСТ 31108-2020, ГОСТ 30515-2013;

– песок для строительных работ (месторождение Ширяевское-2, Самарская обл.) по ГОСТ 8735-88, ГОСТ 8736-2014; насыпная плотность в состоянии естественной влажности 1500 кг/м³; модуль крупности 1.01; класс – II, группа – очень мелкий; Аэфф ~ 33,8±8,3 Бк/кг;

– отсева дробления карбонатных пород АО «Сокское карьероуправление» (Самарская область); поверхность частиц шероховатая; Аэфф ~ 32,3 Бк/кг; насыпная плотность – 1500 кг/м³; морозостойкость F – 25; наличие глины в комках – 0,2 %;

– вода водопроницаемая по ГОСТ 23732-2011.

При изготовлении МЗБ необходимо тщательно оценивать характеристики применяемого песка, регулируя его фракции: определяется возможность получения части песка, прошедшего при просеве через сито № 2,5 (группа I); далее оценивается количество песка, который прошел сквозь сита № 1,25 (группа II) и № 0,315 (группа III) [6–9]. Предпочтителен заполнитель, который до 50 % содержит песок группы I, вторая часть приходится на фракции группы II и III. Применение местных мелких песков вызывает повышенное водозатворение смеси. В применяемом мелком заполнителе песок группы I практически отсутствует, в связи с чем необходимо улучшить гранулометрический состав путем совмещения с отходами дробления карбонатных пород.

Самарские осадочные карбонатные породы отличаются непостоянным минералогическим составом, что осложняет их активное применение в производстве строительной бетонной продукции. Тем не менее отсева дробления и мука карбонатных пород нетоксичны, пожаро- и взрывобезопасны (IV класс опасности); при организации работ необходимо обеспечить пылеулавливание и пылеподавление, наличие спецодежды и средств защиты (ГОСТ 12.1.005-88).

Шероховатая поверхность зерен отсева дробления способствует лучшему сцеплению с кристаллогидратами цементного камня МЗБ. Сравнивая данные доломитовой муки и песка, отмечается, что у зерен песка округлая форма с гладкой поверхностью, у муки поверхность матовая (шероховатая) и кубовидная форма, у отсева – угловатая форма [6]. Характеристики отсева дробления карбонатных пород оцениваются по ГОСТ 31424-2010 и ГОСТ 8736-2014. Целесообразно изготовление состава рациональной зерновой смеси для МЗБ, который приближен к данным оптимальной гранулометрии. В рассматриваемом составе 60 % песка и 40 % отсева дробления карбонатных пород, модуль крупности зерновой смеси $M_{кр} \sim 2.45$.

Составы МЗБ изготовлены в соответствии с данными СН 488-76 и [10], отформованы и испытаны после 28 суточного хранения в нормальных условиях стандартные образцы – кубы и образцы – балочки (с учетом требований ГОСТ 7473-2010, ГОСТ 31384-2017 и ГОСТ 27006-2019), средняя плотность образцов от 2035 до 2118 кг/м³.

Частицы отсевов достаточно равномерно распределяются по объему матрицы бетонной смеси в ходе последующего твердения.

В ходе работы применялись смеси состава цемент : заполнитель 1 : 2,5 (включая зерновую смесь песка и отсева). Корректировка количества воды проводилась во время лабораторных замесов.

Применение заполнителя из природного песка с отсевами дробления в диапазоне 10-40% способствует росту предела прочности на сжатие:

– бездобавочный контрольный состав МЗБ при В/Ц ~ 0,52: $R_{сж} = 27,53$ МПа;

– состав МЗБ (отсев 35%) при В/Ц ~ 0,50: $R_{сж} = 31,15$ МПа;

Смеси с песком и отсевами дробления карбонатных пород способствуют уменьшению В/Ц и увеличению прочности при сжатии в среднем на 11-12 %.

Улучшению качества МЗБ также способствуют различные химические добавки, при работе с которыми должны соблюдаться требования техники безопасности, применяться приточная-вытяжная вентиляция и средства для защиты работающего персонала.

Например, добавки – суперпластификаторы способствуют снижению В/Ц отношения: в меньшей степени ЛСТ, в большей – Полипласт СП-1 и MasterGlenium®51, а также сочетание Полипласт СП-1 и ЛСТ.

Присутствие химических добавок способствует уменьшению открытой пористости и водопоглощения образцов, коэффициент размягчения Кразм превышает 0.8. Мелкие замкнутые поры в цементном камне заполнены воздухом, открытые макропоры присутствуют в небольшом количестве.

При использовании смеси песка с отсевами и добавки MasterGlenium®51 происходит снижение В/Ц и прирост предела прочности на сжатие (состав МЗБ: отсев 35 %, MasterGlenium®51: 0,39 %, при В/Ц ~ 0,46: $R_{сж} = 35,61$ МПа).

Таким образом, присутствие минеральной природной и химической добавок способствует уменьшению водозатворения, улучшают однородность структуры, подтверждая возможность регионального производства МЗБ классов по прочности В15...В20, соответствующих требованиям нормативных документов.

В перспективе важным является изучение вопросов по защите МЗБ с отсевами местных карбонатных пород от развития коррозионных процессов. Например, по данным [3], подобные минеральные природные добавки не являются инертными, в связи с чем могут проявляться опасные изменения объема в цементсодержащем материале. «К минимуму опасность протекания реакций щелочно-карбонатного расширения сводит эксплуатация изделий в воздушно-сухих условиях. При использовании потенциально реакционноспособных карбонатных пород в качестве заполнителей и наполнителей в составе сухих строительных смесей необходимо тщательно контролировать их минералогический состав» [3].

Тем не менее, в настоящее время отходы процессов добычи и дробления, переработки осадочных карбонатсодержащих горных пород Самарской области представляют ценное экологически безопасное техногенное сырье, утилизация которого в практике строительного производства способствует улучшению строительно-технических характеристик цементсодержащих материалов, позволяя при этом рационально использовать мелкие природные заполнители [11; 12].

Библиографические ссылки

1. Лазуткин А. В., Эйрих В. И., Жуков В. П. Использование отсевов дробления – важный фактор экономического роста предприятий нерудной промышленности // Строительные материалы. 2003. № 11. С. 6–7.

2. Шелихов Н. С., Рахимов Р. З. Комплексное использование карбонатного сырья для производства строительных материалов // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 42–44.
3. Зозуля П. В. Карбонатные породы как заполнители и наполнители, в цементах, цементных растворах и бетонах // Статьи – Гипроцемент-наука : [сайт] / ЗАО «НИЦ «Гипроцемент-Наука». URL: <http://www.giprocement.ru/about/articles.html/p+25> (дата обращения: 06.10.2009).
4. Кононова О. В., Черепов В. Д., Солдатова Е. А. Композиционные материалы на основе модифицированных отсеков дробления карбонатных пород // Известия КазГАСУ. 2011. № 1 (15). С. 165–171.
5. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.
6. Красильникова О. А. Использование техногенных отходов карбонатных пород в производстве бетонов : дис. ... маг-ра техн. наук : 08.04.01 / Тольяттинский государственный университет. Тольятти, 2019. 73 с.
7. Поликарпов Н. С., Сидоренко Ю. В. Сырьевые материалы для изготовления мелкозернистых бетонов. // Молодые ученые России: сборник статей VII Всероссийской научно- практ. конф. в 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2021. С. 71–73.
8. Поликарпов Н. С. Экологические проблемы производства и применения мелкозернистых бетонов. // Студенческий вестник : научный журнал. № 45(143). Часть 6. М.: Интернаука, 2020. С. 50–51.
9. Поликарпов Н. С. Изучение процессов структурообразования и свойств мелкозернистых бетонов : дис. ... маг-ра техн. наук : 08.04.01 / Самарский государственный технический университет. Самара, 2021.
10. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов: методическое пособие. М.: АО НИЦ Строительство, 2016. 100 с.
11. Тараканов О. В., Иващенко Ю. Г., Ерофеева И. В. Влияние карбонатных минеральных добавок на формирование микроструктуры и прочность минеральных вяжущих веществ // Региональная архитектура и строительство. 2024. № 1 (58). С. 47–58.
12. Сидоренко Ю. В. Управление качеством цементных материалов и изделий применением техногенного сырья и промышленных отходов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : м-лы Всеросс. научно-метод. конф. Оренбург : ОГУ, 2025. С. 2927–2930.

РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ В УРБОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Е. В. Суходолец¹⁾

¹⁾ Общество с ограниченной ответственностью «Металлопрокатная компания», ул. Metallurgov 1, 211287, г. Миоры, Беларусь, pitanie@tinergy.by

В статье исследуется роль человеческого капитала в устойчивом развитии предприятий общественного питания в урбанизированной среде. На основе контент-анализа публикаций систематизированы механизмы влияния компетенций, мотивации и ценностей персонала на экологическую и экономическую результативность бизнеса. Инвестиции в обучение сотрудников способствуют снижению углеродного следа (до 14%) и пищевых отходов (до 11,3%). Обоснована необходимость интеграции «зелёных» HR-практик для формирования про-экологического поведения. Результаты адаптированы к условиям Беларуси, предложены рекомендации. Особое внимание уделено концепции «зелёного интеллектуального капитала» как источнику конкурентных преимуществ.

Ключевые слова: человеческий капитал; устойчивое развитие; предприятия общественного питания; урбоэкологическая среда; зелёные HR-практики; пищевые отходы; зелёный интеллектуальный капитал.

THE ROLE OF HUMAN CAPITAL IN ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF FOOD SERVICE ENTERPRISES IN THE URBAN ECOLOGICAL ENVIRONMENT

E. V. Sukhodolets¹⁾

¹⁾ LLC «Metal Rolling Company», 1 Metallurgov Str., 211287, Miory, Vitebsk region, Belarus, pitanie@tinergy.by

The article examines the role of human capital in the sustainable development of food service enterprises in an urbanized environment. Based on a content analysis of publications, the mechanisms of influence of staff competencies, motivation and values on the environmental and economic performance of business are systematized. Investments in employee training contribute to reducing the carbon footprint (up to 14%) and food waste (up to 11.3%). The necessity of integrating green HR practices for the formation of pro-environmental behavior is substantiated. The results are adapted to the conditions of Belarus, recommendations are proposed. Special attention is paid to the concept of «green intellectual capital» as a source of competitive advantage.

Keywords: human capital; sustainable development; food service enterprises; urban-ecological environment; green HR practices; food waste; green intellectual capital.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-265-270>

Введение. Постановка проблемы. В современных условиях интенсивной урбанизации предприятия общественного питания функционируют в особой урбоэкологической среде, характеризующейся высокой плотностью застройки, антропогенной нагрузкой и повышенными требованиями со стороны общества и регуляторов к качеству городской среды. Рестораны, кафе и столовые вынуждены искать баланс между экономической эффективностью и экологической ответственностью, внедряя практики управления отходами, энергосбережения и ответственного снабжения. Однако технологические решения (энергоэффективное оборудование, системы очистки) и инновационные бизнес-модели сами по себе не гаран-

тируют достижения целей устойчивого развития без ключевого звена – человека. Основная сложность обусловлена тем, что вклад человеческого капитала (компетенции, мотивация, ценности и вовлеченность кадров) в успешное внедрение экологических инициатив на предприятиях общепита стран СНГ (включая Беларусь) изучен недостаточно. Большинство научных работ анализируют зарубежный опыт либо смежные сферы, такие как ритейл. В результате остаётся неясным, как именно человеческий фактор влияет на устойчивость в локальном сегменте общественного питания.

Анализ предыдущих исследований и публикаций. Обзор актуальной научной литературы свидетельствует о повышении внимания к модели «зелёного управления человеческими ресурсами» (Green HRM) и её вкладу в обеспечение корпоративной устойчивости [5; 9]. Учёные акцентируют внимание на том, что результативность экологических проектов обусловлена не просто соблюдением регламентов, но также креативностью и личной инициативой работников [9]. В исследованиях, касающихся «зелёного» трансформационного лидерства (GTL), обнаружена прямая зависимость между ним и про-экологическим поведением сотрудников (РЕВ), которая реализуется через становление экологического мышления и создание здоровой психологической атмосферы в команде [3; 9]. Подчёркивается значимость отраслевых особенностей: чтобы внедрить более устойчивые практики, к примеру, меню на основе растений, заведениям общепита требуются направленные вложения в подготовку кадровых компетенций [9]. Данные по продовольственному ритейлу, применимые к сфере питания, однозначно выделяют человеческий фактор в качестве ключевого источника возникновения отходов и потерь [4; 9]. Термин «зелёный интеллектуальный капитал» определяется как совокупность знаний, навыков и инфраструктурных ресурсов в сфере устойчивого развития, влияющая на конкурентоспособность компании [6]. Теоретические аспекты формирования экологической культуры персонала в общественном питании также рассматриваются в работе [9].

При этом ряд исследователей указывает на нехватку эмпирических доказательств, которые бы подтверждали действенность отдельных «зелёных» HR-инструментов в индустрии HoReCa, в частности в период глобальной нестабильности [2; 9]. Также фиксируется парадокс: простое наличие обучающих программ не обеспечивает устойчивого поведения, если отсутствует деликатный, ориентированный на ценности подход к HR-процессам [1].

Описание нерешённых аспектов. Несмотря на наличие теоретических разработок, механизм трансформации человеческого капитала в конкретные показатели устойчивости (снижение отходов, углеродного следа, экономия ресурсов) именно для предприятий общественного питания стран СНГ исследован недостаточно. Большинство количественных данных, подтверждающих эту связь (например, снижение углеродного следа на 14 % после обучения [9]), получены на зарубежных выборках (Копенгаген) или в смежных секторах (ритейл в РФ [4]). Адаптация этих механизмов к белорусским реалиям, с учётом структуры потребления, системы профессионального образования и особенностей мотивации персонала, требует отдельного анализа и обоснования.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является определение роли человеческого капитала в обеспечении устойчивого развития предприятий общественного питания, функционирующих в урбэкологической среде, и обоснование применимости выявленных закономерностей для условий Республики Беларусь.

Для достижения цели поставлены следующие задачи: проанализировать влияние компетенций и обучения персонала на реализацию эко-стратегий, опираясь на количественные и качественные данные; оценить роль мотивации, ценностных установок и лидерства в формировании устойчивого про-экологического поведения сотрудников; выявить взаимосвязь между качеством человеческого капитала и эффективностью минимизации пищевых отходов на предприятиях питания; систематизировать ключевые «зелёные» HR-инструменты и предложить

направления их адаптации для белорусских предприятий общественного питания с учётом концепции зелёного интеллектуального капитала.

Основные результаты исследования. Методы. В основу работы положены методы системного анализа в сочетании с качественным контент-анализом. Эмпирическую основу сформировали научные статьи и отчёты отрасли, отбор которых осуществлялся на основе соответствия проблематике управления человеческими ресурсами, устойчивого развития и экологической эффективности в сегменте общественного питания, а также в смежных сферах (ритейл, гостиничный бизнес, пищевое производство). В состав выборки вошли как теоретические труды по тематике Green HRM [6; 9], так и работы, содержащие количественные данные о влиянии человеческого фактора на экологические и экономические итоги [4; 6; 9]. В результате анализа данные были структурированы по основным категориям: компетенции и обучение, мотивация и ценности, лидерство и культура, управление отходами, зелёный интеллектуальный капитал, что позволило выполнить их синтез для формулирования итоговых выводов и рекомендаций.

Результаты. В ходе исследования выявлен и систематизирован ряд ключевых закономерностей, демонстрирующих многогранное влияние человеческого капитала на устойчивое развитие предприятий питания.

Компетенции и обучение как драйверы экоэффективности. Установлено, что переход к устойчивым практикам, таким как внедрение блюд с низким углеродным следом или работа с локальными продуктами, требует целенаправленных инвестиций в развитие специфических навыков персонала [9]. Наиболее убедительное количественное подтверждение этому тезису даёт анализ реализации климатической стратегии Копенгагена в сфере общественного питания. Учреждения, персонал которых прошёл специализированную программу повышения квалификации и индивидуальные консультации, продемонстрировали в 2022 году на 14% более низкий углеродный след по сравнению с учреждениями, где такое обучение не проводилось. Это было достигнуто за счёт изменения структуры закупок (сокращение мяса жвачных животных, увеличение доли растительных белков) [9]. Данный кейс эмпирически подтверждает прямую корреляционную цепочку: «развитие человеческого капитала (обучение) ведёт к изменению профессионального поведения (закупки и меню) и далее к результату устойчивого развития (снижение углеродного следа)». При этом важно отметить, что сотрудники устойчивых компаний ценят не только профессиональные (hard skills) навыки, но и «мягкие» навыки (soft skills), такие как адаптивность, коммуникабельность, командную работу, считая их более важными для достижения целей устойчивости [5]. Исследования в обрабатывающей промышленности Индонезии подтверждают, что внедрение зелёных HR-практик (включая обучение) положительно и значимо влияет на общую устойчивую эффективность организации [6].

Мотивация, ценности и преодоление скептицизма. Эффективность Green HRM напрямую зависит от вовлеченности сотрудников. Исследования фиксируют сильную положительную связь между вовлеченностью персонала и успешностью устойчивых деловых практик [1]. Вовлечённые сотрудники не только выполняют требования, но и проявляют инициативу, участвуют в социальных проектах и берут на себя ответственность за экологические аспекты работы [1; 5]. Важным внешним фактором является изменение ценностей на рынке труда: молодое поколение (поколение Z) рассматривает наличие у работодателя «зелёных» практик как значимый критерий выбора места работы, что превращает экологическую политику в конкурентное преимущество в борьбе за таланты [9]. Однако критически важным является преодоление риска скептицизма персонала. Безразличие или сопротивление сотрудников могут быть вызваны восприятием экологических инициатив как «гринвошинга», то есть формального пиара или способа избежать штрафов, а не искренней заботы об экологии [9]. В связи с этим на этапе рекрутинга ключевым фактором успеха становится соответствие личных ценностей кандидата и целей компании в области устойчивого развития. Исследования показывают, что для

устойчивого бизнеса этот критерий может быть важнее, чем наличие узкопрофессиональных навыков [5].

Управление отходами: роль человеческого фактора. Проблема утилизации пищевых отходов становится одним из ключевых вызовов для экологии современных городов. Исследования в сфере продовольственного ритейла, который близок к общепиту по ассортименту и причинам порчи товаров, подтверждают: человеческий фактор входит в тройку главных причин продовольственных потерь [4]. Нарушение правил приёмки, несоблюдение условий хранения и ошибки в ротации продукции приводят к тому, что до 80% скоропортящихся товаров (фруктов, овощей, молочной и мясной продукции) оказываются в мусорном ведре [4; 7]. Это ложится тяжёлым бременем на экологию: по некоторым данным, в России 94 % отходов овощей и фруктов вывозятся на полигоны для захоронения [2]. Однако грамотное управление персоналом способно кардинально изменить ситуацию. Внедрение систем КРІ, привязанных к сохранности товара, и проведение обучающих программ для сотрудников дают ощутимый результат. Как показывает практика, такие организационные изменения позволяют сократить объем списаний в среднем на 11,3 % [4]. Таким образом, инвестиции в человеческий капитал приносят двойную выгоду: снижают экономические издержки бизнеса и уменьшают негативное воздействие на окружающую среду.

Лидерство и организационная культура. Драйвером глубинных изменений в корпоративной культуре выступает «зелёное» трансформационное лидерство. Благодаря наставничеству и личному примеру руководителей у сотрудников формируется внутренняя мотивация к действиям в защиту экологии: они готовы делать больше, чем предписано регламентами [3; 5]. Этот тип лидерства, построенный на вдохновении, создаёт прочную эмоциональную связь: работники устойчивых компаний отмечают, что именно такой стиль руководства удерживает их в организации [5]. Следствием становится формирование устойчивого «зелёного» психологического климата. Когда экологическая ответственность превращается во внутренний стандарт, сотрудники естественным образом транслируют бережное отношение к природе за пределы офиса, в быт и повседневные привычки [3; 5].

Обсуждение результатов. Проведённый анализ позволяет рассматривать человеческий капитал не как пассивный ресурс, а как активного агента и драйвера изменений. Для предприятий общественного питания, интегрированных в урбоэкологическую среду, это означает необходимость стратегического сдвига: от формального соблюдения природоохранных норм к целенаправленному формированию «зелёного интеллектуального капитала» [6]. Последний представляет собой совокупность знаний, навыков, креативности и приверженности сотрудников экологическим ценностям, которые становятся источником конкурентных преимуществ. Исследование Zainal и соавторов (2024) подтверждает, что системное внедрение зелёных HR-практик (от найма эко-ориентированных сотрудников до их обучения и мотивации) напрямую повышает устойчивую эффективность бизнеса [6]. Развитию данных подходов применительно к общественному питанию посвящена также работа [9].

В контексте Республики Беларусь, где, как и в соседних странах, остро стоит проблема обращения с органическими отходами, внедрение выявленных механизмов представляется высокоактуальным. Учитывая, что структура потерь в ритейле (и, вероятно, в общепите) сходна с российской [7], фокус на обучении персонала правилам приёмки, хранения и ротации, а также внедрение систем мотивации, стимулирующих сохранность продуктов, могут дать сопоставимый экономический и экологический эффект. Опыт Копенгагена по системному повышению квалификации специалистов питания [9] может быть адаптирован через интеграцию модулей по устойчивому развитию и гастрономии с низким углеродным следом в программы белорусских колледжей и вузов, а также через развитие системы корпоративных тренингов.

Особого внимания заслуживает проблема скептицизма персонала [9]. Для белорусских предприятий это означает, что внедрение эко-инициатив должно сопровождаться прозрачной

внутренней коммуникацией, объясняющей не только «что» и «как», но и «почему» это важно, демонстрируя искренность намерений руководства. Экономическая эффективность вложений в человеческий капитал подтверждается данными: мотивация управляющих на сохранность товара (а не на формальное выполнение плана любой ценой) напрямую снижает потери [7], что применимо и к управляющим белорусскими ресторанами. Дальнейшее развитие требует адаптации успешных зарубежных практик работы с локальными поставщиками [8] и внедрения цифровых инструментов для мониторинга экологических показателей [7; 9], что также является функцией управленческих компетенций.

Заключение. Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы:

1) человеческий капитал, включающий компетенции, мотивацию, ценности и вовлечённость персонала, является определяющим фактором успешной реализации стратегий устойчивого развития на предприятиях общественного питания в урбоэкологической среде;

2) выявлена прямая связь между инвестициями в обучение персонала и экологической результативностью (снижение углеродного следа до 14% в изученных кейсах), а также между эффективным управлением персоналом и экономической эффективностью (снижение потерь от пищевых отходов до 11,3%);

3) для урбоэкологической среды критическое значение приобретают «мягкие» навыки сотрудников, их ценностное соответствие целям компании и «зелёное» трансформационное лидерство, способные формировать устойчивое проэкологическое поведение;

4) концепция «зеленого интеллектуального капитала» интегрирует разрозненные элементы человеческого капитала в единую систему, обеспечивающую конкурентные преимущества через экологическую устойчивость.

Научная новизна работы заключается в систематизации и обобщении разрозненных данных о влиянии человеческого капитала на устойчивость предприятий питания, а также в адаптации этих закономерностей к контексту стран СНГ с их специфическими проблемами обращения с отходами. Для предприятий общественного питания Беларуси рекомендуется внедрение комплекса «зелёных» HR-практик: экологически ориентированный рекрутинг, разработка систем мотивации, привязанных к показателям устойчивости (снижение отходов, экономия ресурсов), и реализация программ непрерывного обучения персонала. Перспективы дальнейших исследований видятся в проведении эмпирического анализа на базе конкретных предприятий общественного питания Республики Беларусь для верификации выявленных теоретических закономерностей и разработки отраслевых метрик оценки эффективности человеческого капитала в контексте устойчивого развития.

Библиографические ссылки

1. *Iskandar Y., Pahrijal R., Kurniawan K.* Sustainable HR Practices in Indonesian MSMEs from a Social Entrepreneurship Perspective: Training, Recruitment, Employee Engagement, Social Impact of Local Communities // *International Journal of Business, Law, and Education*. 2023. Vol. 4, no. 2. P. 904–925. DOI: 10.56442/ijble.v4i2.262. URL: <https://ijble.com/index.php/journal/article/view/262> (дата обращения: 03.02.2026).

2. *Коптелов К. И., Горячева Е. Д., Кузнецова К. С.* Проблемы и перспективы технологий утилизации отходов овощей и фруктов // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2025. № 2(48). С. 112–122. DOI: 10.55196/2411-3492-2025-2-48-112-122. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-tehnologiy-utilizatsii-othodov-ovoschey-i-fruktov> (дата обращения: 09.02.2026).

3. *Fatoki O.* Green transformational leadership and employee pro-environmental behavior: The role of green thinking and green psychological climate // *International Journal of Management and Sustainability*. 2023. Vol. 12, no. 1. P. 13–25. DOI: 10.18488/11.v12i1.3260. URL: <https://archive.conscientiabeam.com/index.php/11/article/view/3260> (дата обращения: 12.02.2026).

4. Новикова К. В., Ковалев В. Е., Антинескул Е. А. Минимизация потерь продовольственного ритейла в России // ЭТАП. 2022. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/minimizatsiya-poter-prodovolstvennogo-riteyla-v-rossii> (дата обращения: 12.02.2026).
5. Farao C., Bernuzzi C., Ronchetti C. The Crucial Role of Green Soft Skills and Leadership for Sustainability: A Case Study of an Italian Small and Medium Enterprise Operating in the Food Sector // Sustainability. 2023. Vol. 15. P. 15841. DOI: 10.3390/su152215841. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/15841> (дата обращения: 11.02.2026).
6. Zainal S.-V. R., Siswanti I., Nawangsari L. C. The Implementation of Green Human Resource Management: A Survey on the Manufacturing Industry in Indonesia // Journal of Management and Economic Studies. 2024. Vol. 6, no. 1. P. 38–51. DOI: 10.26677/TR1010.2024.1381. URL: <https://www.jomaes.org/index.php/jomaes/article/view/1381> (дата обращения: 06.02.2026).
7. Ковалев В. Е., Антинескул Е. А. Повышение экономической эффективности процесса реализации и переработки пищевой продукции в торговых сетях // Индустрия питания|Food Industry. 2024. Т. 9, № 4. С. 98–113. DOI: 10.29141/2500-1922-2024-9-4-12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68534256> (дата обращения: 13.02.2026).
8. Плетнева Н. А. Экомаркетинг как руководящая бизнес-концепция в секторе продуктового ритейла // Практический маркетинг. 2015. № 1(215). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekomarketing-kak-rukovodyaschaya-biznes-kontseptsiya-v-sektore-produktovogo-riteyla> (дата обращения: 08.02.2026).
9. Суходолец Е. В., Павлов К. В. Зелёные HR-практики в общественном питании: инструменты формирования экологической культуры персонала в условиях глобальной турбулентности // Национальные эколого-экономические и социальные интересы в эпоху больших вызовов : материалы XVIII Международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики, Апатиты, 30 июня – 05 июля 2025 г. / Кольский научный центр РАН. Апатиты, 2025. С. 119–122. URL: https://rio.ksc.ru/data/documents/55_ROEE_2025.pdf (дата обращения: 08.02.2026).

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЖИТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЁННОЙ ТЕРРИТОРИИ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

П. Г. Сыманович¹⁾, Д. А. Босько¹⁾, М. М. Круталевич¹⁾,
О. Н. Онищук¹⁾, С. В. Аксенчик¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь bntu.nir@gmail.com

В статье рассматриваются методические особенности физической культуры как части комплексной реабилитации, направленной на повышение способности организма препятствовать влиянию малых доз радиации. После катастрофы на Чернобыльской АЭС, произошедшей 26 апреля 1986 года, большое количество населения, проживающего на загрязнённых территориях, постоянно подвергается вредному воздействию радиационного ионизирующего излучения. На основании изученных литературных источников по тематике реабилитации данного населения разработана и реализуется на практике соответствующая методика занятий физической культурой.

Ключевые слова: физические упражнения; организм; загрязнённые территории; здоровье; реабилитация; методика; оздоровительная гимнастика.

METHODOLOGICAL FEATURES OF PHYSICAL EDUCATION OF RESIDENTS OF CONTAMINATED AREAS AFTER THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT DISASTER

P. G. Symanovich¹⁾, D. A. Bosko¹⁾, M. M. Krutalevich¹⁾,
O. N. Onishchu¹⁾, S. V. Aksenchyk¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

This article examines the methodological aspects of physical education as part of comprehensive rehabilitation aimed at enhancing the body's ability to withstand the effects of low-dose radiation. Following the Chernobyl nuclear disaster on April 26, 1986, a large population living in contaminated areas has been constantly exposed to the harmful effects of ionizing radiation. Based on a review of the literature on the rehabilitation of this population, a corresponding physical education methodology has been developed and is being implemented.

Keywords: physical exercise; body; contaminated areas; health; rehabilitation; methodology; health gymnastics

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-271-275>

Введение. В результате крупной аварии 26 апреля 1986 года на Чернобыльской АЭС на поверхность земли было выброшено немалое количество радиоактивных веществ, которые пагубно повлияли на здоровье населения. В зоне риска оказались в первую очередь жители Республики Беларусь, Украины и Российской Федерации [1].

Естественно, данная авария оставила огромный отпечаток в истории человечества, особенно повлияла на его здоровье. Население было подвержено как стохастическим, так и детерминированным эффектам. Стохастические эффекты, подразумевающие такие последствия облу-

чения, которые возникают без строгой дозовой границы, когда невозможно точно предсказать проявятся ли они у конкретного человека или нет поскольку их невозможно диагностировать как непосредственно вызванные радиацией. Детерминированные эффекты – это объективно диагностируемые повреждения организма от радиации, для которых характерен пороговый уровень дозы: ниже этого уровня последствий не наблюдается, а при его превышении степень тяжести напрямую зависит от полученной дозы [2].

Поступившие в организм радионуклиды, так называемые инкорпорированные радионуклиды, могут попадать в организм тремя путями: с воздухом через органы дыхания (ингаляционное поступление), с водой и пищей через органы пищеварения (пероральное поступление) и через кожу (перкутанное поступление).

Следовательно, для восстановления организма используется физическая реабилитация, представляющая собой комплексный подход в использовании природных факторов и применении физических упражнений для лечения, профилактики и восстановления здоровья, функциональных возможностей и работоспособности пациентов и лиц с ограниченными возможностями. Она является обязательным компонентом медицинской реабилитации и используется на всех её сроках и стадиях. Методы физической реабилитации задействуются также в ходе социальной и профессиональной адаптации. К числу её основных средств относятся: лечебная физическая культура, массаж, физиотерапевтические процедуры, механотерапия и трудотерапия.

При подборке комплексов физических упражнений и методики их выполнения для населения загрязнённых территорий необходимо также учитывать, где локализуются инкорпорированные радионуклиды: в костях, кроветворных органах, лимфатической и дыхательной системах и др [3].

Цель исследования – разработать методику занятий физической культурой для населения, проживающего на территориях, загрязнённых радионуклидами, с учётом локализации инкорпорированных изотопов в организме, а также оценить влияние регулярной физической активности на субъективные показатели здоровья жителей.

Методы исследования:

1) теоретический анализ – изучение научной литературы по вопросам радиационной медицины, физической реабилитации и адаптивной физической культуры;

2) анкетный опрос – сбор первичной информации среди населения загрязнённых территорий о характере, регулярности и видах физической активности, а также о самооценке состояния здоровья;

3) сравнительный анализ – сопоставление показателей здоровья у респондентов, регулярно выполняющих физические упражнения, и у лиц, не занимающихся физической культурой;

4) обобщение и систематизация – обработка полученных данных, выявление закономерностей и формулировка практических рекомендаций по построению тренировочного процесса.

Результаты исследования и их обсуждение. Общеизвестно, что люди, проживающие на загрязнённых территориях, подвержены постоянному воздействию ионизирующего излучения. Это характеризуется тем, что у данной группы населения наблюдается сниженный иммунитет, а также иные заболевания, включая плохую подвижность (гибкость) позвоночника [4–6]. В связи с этим в рамках разработанной методики предложены следующие комплексы упражнений, которые направлены на улучшение физического здоровья, укрепление иммунитета занимающихся и компенсацию вредного воздействия ионизирующего излучения:

1) дыхательная гимнастика – система специальных упражнений, направленных на тренировку дыхательной мускулатуры, расширение функциональных возможностей лёгких и усиление газообмена.

Основные упражнения и дозировка:

– глубокое дыхание (4-8-8): вдох носом (4 сек), задержка (8 сек), медленный выдох через сложенные трубочкой губы (8 сек);

– метод Бутейко (при астме): поверхностное дыхание с использованием диафрагмы (животом) для уменьшения гипоксии;

– гимнастика Стрельниковой: шумные, короткие вдохи носом в сочетании с движениями (например, «Ладони» – сжатие кулаков, «Передний шаг» – приседания).

Дозировка: 4–7 раз в неделю по 5–10 мин [4–6].

2) оздоровительный бег: дистанция от 500 м до 3 километров, равномерно на ЧСС 110–150 ударов в минуту, без резких признаков появления утомления.

Дозировка: 2–4 раза в неделю [4–6].

3) партерная гимнастика – выполнение гимнастических упражнений лёжа, на боку или сидя (оздоровление позвоночника) (рис. 1).

Основные упражнения и дозировка:

– «Бабочка» – исходное положение: сидя на полу, ноги согнуты в коленях, стопы сведены вместе, колени разведены в стороны. Спина прямая, руки обхватывают стопы.

Техника выполнения: пружинящими движениями опускать колени к полу, стараясь полностью положить их на поверхность. Зафиксировать положение на несколько секунд.

– «Складочка» («Чемоданчик») – исходное положение: сидя на полу, ноги вытянуты вперёд, стопы натянуты на себя. Руки подняты вверх, спина прямая.

Техника выполнения: медленно наклонить корпус вперёд, стараясь животом лечь на бёдра. Руками захватить стопы, голову тянуть к коленям. Задержаться.

– «Лягушка» (вариант сидя) – исходное положение: сидя на полу, ноги максимально широко разведены в стороны, колени прямые, стопы натянуты на себя.

Техника выполнения: медленный наклон корпуса вперёд, животом и грудью тянуться к полу. Руки вытянуты вперёд или в стороны.

– «Лягушка» (вариант на животе) – исходное положение: лёжа на животе, ноги согнуты в коленях, бёдра разведены в стороны, стопы сомкнуты вместе (пятки прижаты друг к другу).

Техника выполнения: лежать неподвижно, расслабляя таз и бёдра, стараясь опустить их как можно ниже к полу. Руки согнуты в локтях, подбородок на кистях.

– «Змея» («Сфинкс») – исходное положение: лёжа на животе, ноги вместе, стопы вытянуты. Руки согнуты в локтях, ладони упираются в пол на уровне груди.

Техника выполнения: медленно выпрямляя руки, поднять верхнюю часть корпуса вверх, не отрывая таз и ноги от пола. Поясница прогибается, взгляд вверх. Задержаться, затем плавно опуститься.

– «Корзиночка» («Коробочка») – исходное положение: лёжа на животе, ноги согнуты в коленях, руками захватить голеностопы снаружи.

Техника выполнения: одновременно поднимать бёдра и верхнюю часть корпуса вверх, прогибаясь в спине. Ноги тянуть руками на себя. Зафиксировать положение.

– «Лодочка» – исходное положение: лёжа на животе, руки вытянуты вперёд, ноги вместе, стопы вытянуты.

Техника выполнения: одновременно поднять прямые руки, грудь и прямые ноги вверх. Удерживать баланс на животе, не сгибая колени и локти. Задержаться.

– «Кошка» – исходное положение: стоя на коленях и прямых руках (упор на ладони), спина прямая.

Техника выполнения: на выдохе – округлить спину вверх, подбородок к груди («злая кошка»). На вдохе – прогнуть спину вниз, макушку и копчик тянуть вверх («добрая кошка»).

– «Перекаты на спине» – исходное положение: сидя на полу, ноги согнуты в коленях, руками обхватить голени, подбородок прижат к груди («поза эмбриона»).

Техника выполнения: перекатываться на округлой спине вперёд-назад, не открывая группировку.



Рис. 1. Наглядное представление партерной гимнастики

Дозировка: 1–3 раза в неделю по 30–60 минут [4–6].

По результатам ананимного анкетного опроса студентов проживающих в Гомельской области положительная тенденция физического здоровья была выявлена у респондентов, которые занимались физической активностью (в частности средствами, предложенными в нашей методике), а также пренебрегали вредными привычками (рис. 2, 3).

Занимаетесь ли вы физической культурой или ведёте активный образ жизни (ходьба, бег, зарядка и так далее)?
20 ответов

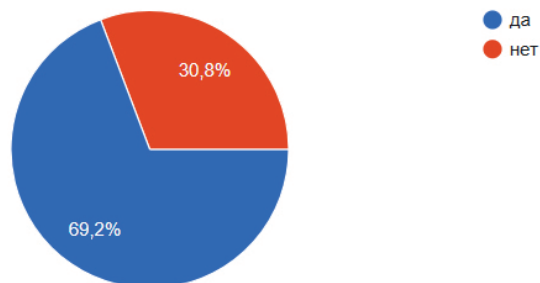


Рис. 2. Диаграмма результатов вопроса о выполнении физических упражнений

Курите ли вы?
20 ответов

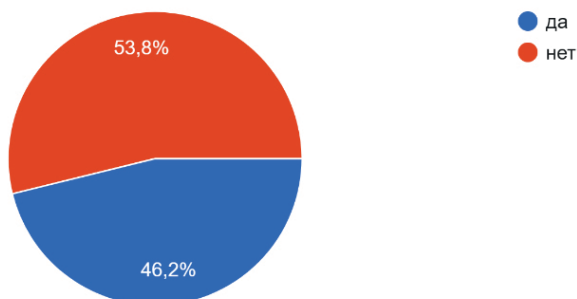


Рис. 3. Диаграмма результатов вопроса о вредной привычке, тесно связанной с влиянием ионизирующего излучения на организм человека

Выводы. Проведённое исследование подтверждает эффективность применения разработанной методики в качестве неотъемлемого компонента реабилитации населения, проживающего на территориях, загрязнённых радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.

В ходе анкетного опроса студентов установлено, что большинство респондентов (78,9 %) регулярно выполняют физические упражнения. Сравнительный анализ показал устойчивую корреляцию между наличием физической активности и более высокими субъективными показателями здоровья. Среди занимающихся физической культурой реже встречались частые случаи ОРВИ, лучше оценивалась подвижность позвоночника и психоэмоциональное состояние, реже диагностировались заболевания органов дыхания. Кроме того, выявлено, что среди физически активных респондентов значительно ниже доля лиц, имеющих вредные привычки (курение), что дополнительно снижает радиационный риск.

Предложенные методические особенности физической культуры включают доступные и малозатратные средства: дыхательную гимнастику, оздоровительный бег и партерные упражнения, направленные на увеличение силы мышц, развитие гибкости и улучшение вентиляции лёгких. Особенностью данной методики является учёт локализации инкорпорированных радионуклидов (костная ткань, кроветворные и дыхательная системы), что позволяет адресно воздействовать на наиболее уязвимые так называемые органы-мишени.

Таким образом, систематические занятия физической культурой по предложенной методике могут рассматриваться как действенный немедикаментозный способ повышения резистентности организма к последствиям хронического радиационного воздействия. Полученные результаты обосновывают целесообразность внедрения разработанной методики в программы диспансерного наблюдения и санаторно-курортного лечения жителей загрязнённых территорий.

Библиографические ссылки

1. Сыроежина, Е. В. Высотный экстрим радиации, или спортивно-туристический «чернобыль» / Е. В. Сыроежина, С. А. Полиевский, В. С. Макеева // Вестник Челябинского государственного университета. 2013. № 34. Образование и здравоохранение. С. 121–125.

2. Ткаченко В. В. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. Часть 1. Основы дозиметрии ионизирующих излучений и радиационной безопасности. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015 144 с.

3. Ткаченко В. В. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. Часть 2. Нормирование облучения человека. Прикладная дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015 148 с.

4. Упражнения партерной гимнастики для развития выворотности, подвижности и укрепления связок голеностопного сустава, мышц голени и стопы. URL: Упражнения партерной гимнастики для развития выворотности, подвижности и укрепления связок голеностопного сустава, мышц голени и стопы. (дата обращения: 13.02.2026).

5. Оздоровительная гимнастика. URL: Оздоровительная гимнастика. ГБУЗ Городская детская поликлиника № 2 (дата обращения: 13.02.2026).

6. Оздоровительная гимнастика: теория и методика: учебно-методическое пособие. URL: Оздоровительная гимнастика: теория и методика: учебно-методическое пособие (с электронным приложением) (дата обращения: 13.02.2026).

АНАЛИЗ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЖИТЕЛЕЙ ТРЕХ РАЙОНОВ МИНСКА ПРИ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

П. Г. Сыманович¹⁾, В. В. Таурогинская¹⁾, М. М. Круталевич¹⁾,
А. Д. Жак¹⁾, О. К. Горбачева¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, bntu.nir@gmail.com

Современные города сталкиваются с двойной проблемой: ограниченностью пространства для физической активности и ростом заболеваний, связанных с малоподвижным образом жизни. В ответ на это возникает глобальное переосмысление городской инфраструктуры не только как пространства для передвижения и жизни, но и как универсальной спортивной площадки. Такие средства физической культуры как комплексы упражнений, используемые в паркуре, воркауте и уличный бег трансформируют общественные пространства, утверждая «право на здоровый город» через призму физического здоровья и физического развития.

Ключевые слова: городская среда; физическая культура; паркур; воркаут; бег; общественное пространство.

ANALYSIS OF THE PREFERENCES OF RESIDENTS OF THREE DISTRICTS OF MINSK DURING INDEPENDENT PHYSICAL ACTIVITY

P. G. Symanovich¹⁾, V. V. Taurahinskaya¹⁾, M. M. Krutalevich¹⁾,
A. D. Zhak¹⁾, O. K. Gorbacheva¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, bntu.nir@gmail.com

Modern cities face a dual challenge: limited space for physical activity and a rise in diseases associated with sedentary lifestyles. In response, urban infrastructure is being reimagined globally, not only as a space for movement and living, but also as a universal sports venue. Physical education methods such as exercise complexes used in parkour, workout, and street running are transforming public spaces, affirming the “right to a healthy city” through the lens of physical health and physical development.

Keywords: urban environment; physical education; parkour; workout; running; public space.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-276-279>

Введение. Концепция «здорового города» выходит далеко за рамки наличия парков и больниц. Она подразумевает создание среды, которая органично и постоянно стимулирует жителей к движению на протяжении всей жизни. В классической теории физической культуры подчёркивается, что процесс физического воспитания не ограничивается стенами спортивных залов, а пронизывает все сферы жизнедеятельности человека – от быта и отдыха до профессиональной и рекреационной деятельности [1–3]. Ряд авторов отмечают, что именно физическая рекреация представляет собой использование физических упражнений в упрощённых формах для активного отдыха, переключения с одного вида деятельности на другой и получения удовольствия от движения [1–3]. Эти теоретические положения напрямую коррелируют с приме-

нением современных и традиционных средств физической культуры, используемых на открытых городских пространствах, изложенных выше.

В ответ на ограниченную доступность спортивных сооружений и рост гиподинамии возникает глобальное переосмысление городской инфраструктуры. Современные урбанистические стандарты (Active Design, Healthy Streets) рассматривают физическую активность как базовый элемент повседневного функционирования города, а не как опцию, доступную лишь в специально отведённых местах [4]. Особую роль в этом процессе играют паркур, воркаут и любительский бег, которые становятся не просто средством физической активности, а способом «присвоения» и оживления городского пространства. Как отмечает И. В. Степанов, паркур представляет собой не преодоление города, а диалог с ним, где каждое архитектурное решение становится вызовом физическим и ментальным способностям человека [5]. Согласно исследованиям М. П. Чернышева, несмотря на культурные и законодательные барьеры, сообщества трейсеров и воркаутеров формируют устойчивые модели поведения, превращая «серые» стены в функциональные спортивные снаряды [6].

Актуальность настоящего исследования обусловлена разрывом между стихийными спортивными практиками горожан и официальной политикой благоустройства. А. С. Гордеева на основе эмпирических данных 2023 года доказывает, что внедрение элементов «спортивной урбанистики» способно повысить уровень регулярной физической активности населения в среднем на 23 % [7].

Цель исследования – проанализировать, как современные и традиционные средства физической культуры (комплексы упражнений, используемые в паркуре и воркауте, бег) используются в городской среде, и проанализировать проектирование «здорового города», который поощряет спонтанную физическую активность.

Методы исследования – анализ и обобщение литературных источников по проблеме исследования, анкетирование, методы математической статистики.

Современные и традиционные средства физической культуры, используемые на открытых городских пространствах, основаны на принципе адаптивности. Трейсер (практик паркура) видит в городе не набор барьеров, а полосу препятствий, требующую творческого и эффективного прохождения. Паркур – это не про преодоление города, а про диалог с ним, где каждое архитектурное решение становится вопросом к физическим и ментальным способностям человека [6]. Это кардинально меняет восприятие среды: обычная скамейка становится местом для отталкивания, а глухая стена – вызовом для скалолазания. Воркаут в свою очередь трансформировал спортивные площадки в места социального притяжения. Сообщества воркаутеров не только тренируются, но и обмениваются знаниями, создавая неформальные образовательные центры под открытым небом. Бег, будучи наиболее демократичной практикой, использует всю линейную инфраструктуру города (тротуары, набережные, парковые аллеи), превращая ежедневные маршруты в кардиотренировки.

Результаты исследования и их обсуждение. Основной целью исследования являлся сравнительный анализ распространённости средств физической культуры при выполнении комплексов упражнений воркаута и паркура, а также бега, используемых на открытых городских пространствах в зависимости от инфраструктурных и социально-демографических особенностей территорий. С этой целью были проанализированы данные опроса (было опрошено по 120 человек с каждого района, по 30 человек в каждой возрастной группе), занимающихся этими активностями, и инфраструктура Московского, Октябрьского и Первомайского районов г. Минска, которая используется при этом (таблица).

**Распределение респондентов по видам физической активности, возрасту /
и удовлетворенности инфраструктурой трех районов г. Минска**

Московский р-н			
	Бег	Воркаут	Паркур
% занимающихся	68 % (от активных)	15 % (от активных)	<5 %
Возраст, лет	14–17: 20 %	14–17: 24 %	14–17: 90 %
	18–30: 17 %	18–30: 60 %	18–30: 10 %
	31–50: 45 %	31–50: 15 %	31–50: 0 %
	51–65: 18 %	51–65: 1 %	51–65: 0 %
Инфраструктура	Лесопарк (12 км)	Детские площадки (47 шт.)	Отсутствует
Среднее время, мин	35	20	15 (стихийно)
Удовлетворенность	85 %	22 %	10 %
Заводской р-н			
	Бег	Воркаут	Паркур
% занимающихся	22 % (от активных)	25 % (от активных)	88 % (от активных)
Возраст, лет	14-17: 12 %	14-17: 9 %	14-17: 77 %
	18-30: 42 %	18-30: 64 %	18-30: 23 %
	31-50: 33 %	31-50: 25 %	31-50: 0 %
	51-65: 13 %	51-65: 2 %	51-65: 0 %
Инфраструктура	Скверы (<1 га)	Устаревшие турники	Промзоны (завод)
Среднее время, мин	25	30	45
Удовлетворенность	35 %	28 %	65 %
Первомайский р-н			
	Бег	Воркаут	Паркур
% занимающихся	76 % (от активных)	92 % (от посетителей площадок)	8 %
Возраст, лет	14-17: 6 %	14-17: 29 %	16-25: 96 %
	18-30: 42 %	18-30: 55 %	18-30: 4 %
	31-50: 35 %	31-50: 15 %	31-50: 0 %
	51-65: 17 %	51-65: 1 %	51-65: 0 %
Инфраструктура	Набережная (4.2 км)	Спец. площадки (4 шт.)	Стихийные точки
Среднее время, мин	45	5	30
Удовлетворенность	90 %	95 %	40 %

Из таблицы видно, что наиболее развитой инфраструктурой для занятий физическими упражнениями в виде бега, воркаута и паркура является Первомайский район г. Минска, где созданы и создаются специальные (в том числе и стихийные) площадки для реализации двигательной потребности организма занимающихся. Тем не менее, желающие заниматься данными направлениями физической активности находят варианты и удовлетворяют свои желания получить максимально приемлемую физическую нагрузку и в других районах города.

В районах города с развитой линейной инфраструктурой (Московский и Первомайский), как показали опросы, респонденты наиболее активно занимаются бегом, поскольку по их мнению – это универсальное оздоровительное средство. Причем оно популярно для активных занятий всех возрастных групп. Правда, наиболее высокая доля активности наблюдается среди представителей первого и второго зрелого возраста (31–50 лет). Удовлетворенность условиями для бега напрямую коррелирует с качеством инфраструктуры, достигая 85–90 % в благоприятных районах города.

Естественно, исключительно при наличии современных специализированных площадок максимальной популярности достигает воркаут. Такая тенденция отмечена по итогам опроса занимающихся. Поскольку Первомайский район г. Минска лидирует по оборудованной инфраструктуре для занятий воркаутом процент занимающихся здесь значительно выше по сравнению с остальными районами и составляет 92 %, Октябрьский – 25 %, Московский – 15 %. Как видно из таблицы, в районах без качественного оборудования вовлеченность и удовлетворенность занимающихся достоверно падает. При этом, видимо, не случайно, что его основная аудитория – юношеский и первый зрелый возраст (18–30 лет).

Занятия паркуром демонстрируют свою высокую зависимость от стихийной инфраструктуры и доминируют (88 %) в Октябрьском районе, где промышленные зоны предоставляют необходимые препятствия. Это подростковая практика: в двух из трех районов более 90% занимающихся относятся к подростковому возрасту (14–17 лет). При отсутствии подходящих условий (Московский район) паркур не практикуется, а удовлетворенность низкая даже в подходящих районах из-за отсутствия необходимого оборудования.

Выводы. Городская среда обладает колоссальным, часто нераскрытым потенциалом для развития массовой физической культуры. Средства физической культуры, используемые на открытых городских пространствах в виде комплексов упражнений паркура, воркаута и бег, демонстрируют, как жители самостоятельно превращают город в спортивный зал, отстаивая своё право на здоровье и активный образ жизни. Теоретические положения, разработанные в научных трудах [2; 3], получают эмпирическое подтверждение: физическая рекреация действительно реализуется в повседневной городской среде, а потребность в движении формируется под влиянием доступности и качества этой среды.

Библиографические ссылки

1. *Бойченко С. Д., Сыманович П. Г.* Система многолетней спортивной подготовки: программирование и контроль // Монография. Гродно, 2016. 230 с.
2. Теория и методика физического воспитания: учебное пособие / А. Г. Фурманов [и др.]; под общ. ред. А. Г. Фурманова, М. М. Круталевича. Минск: РИВШ, 2021. С. 108–117.
3. *Курамшин Ю. Ф.* Теория и методика физической культуры: учебник // 4-е изд., стереотип. Москва : Советский спорт, 2010. 320 с.
4. *Максимова Е. А., Петров, К. Д.* Здоровый город: от концепции к проектированию // Архитектура и современные городские технологии, 2021, 15(2). С. 108–118.
5. *Степанов И. В.* Тело в городе: антропология паркура и скейтбординга // СПб.: Изд-во «Ультра. Культура». 2022. С. 108–109.
6. *Чернышев М. П.* Конфликтные практики использования городского пространства: случай паркура // Социологические исследования, 2020, (8), С. 30–38.
7. *Гордеева А. С.* Влияние элементов спортивной инфраструктуры на уровень физической активности городского населения // Урбанистика и здоровье, 2023, (4). С. 109–111.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭМИССИИ CO₂ НА АВТОДОРОГАХ г. ПЕНЗЫ

О. Н. Федосеев¹⁾, Р. Ю. Кондаков¹⁾

¹⁾ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ул. Германа Титова, 28, 440028, г. Пенза, Российская Федерация, OlegF1962@mail.ru

Произведен расчет выбросов парниковых газов от автотранспорта в г Пензе. Прослежена динамика транспортного потока в течение дня, недели и сезона года на одно, двух и трехполосных автодорогах. Наибольший выброс CO₂ наблюдается для легковых автомобилей на двухполосных дорогах, грузовых – трехполосных. Удельный выброс CO₂ составил для легковых автомобилей – 162,5, для грузовых – 435,7 кг/(год⊕авт.). Годовой размер компенсационных мероприятий на один автомобиль составил для легковых – 0,016 га, для грузовых – 0,042 га средневозрастного смешанного леса. С учетом затрат на воспроизводство лесных угодий на 2025 г. расчетный размер предполагаемого экологического налога для легковых автомобилей составил 1546,5 руб., для грузовых – 4132,9 руб.

Ключевые слова: парниковые газы; загрязнение атмосферного воздуха в городах; климатические адаптационные мероприятия.

DETERMINATION OF THE COST OF COMPENSATORY MEASURES FOR CO₂ EMISSION ON THE ROADS OF PENZA

O. N. Fedoseyev¹⁾, R. Y. Kondakov¹⁾

¹⁾ Penza State University of Architecture and Construction, Germana Titova str., 440028, Penza, Russian Federation, OlegF1962@mail.ru

Greenhouse gas emissions from motor transport in Penza have been calculated. The dynamics of traffic flow during the day, week and season of the year on one, two and three-lane highways are traced. The highest CO₂ emissions are observed for passenger cars on two-lane roads, and trucks on three-lane roads. The specific CO₂ emission was 162.5 kg/year.car for passenger cars and 435.7 kg/year.car for trucks. The annual amount of compensation measures per car was 0.016 ha for passenger cars and 0.042 ha of medium-aged mixed forest for trucks. Taking into account the cost of forest land reproduction for 2025, the estimated environmental tax for passenger cars was 1546.5 rubles, for trucks – 4132.9 rubles.

Keywords: greenhouse gases; urban air pollution; climate adaptation measures.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-280-286>

Транспорт является одним из основных источников, выделения большого количества загрязняющих веществ в окружающую среду. В настоящее время эмиссия большого количества CO₂ является одной из наиболее острых экологических проблем, стоящих перед человечеством. По статистике загрязнение воздуха автомобильными выхлопами составляет от 80 до 95 % всех загрязнений окружающей среды [1; 2].

На выбросы оксида углерода одним транспортным средством (ТС) влияют рельеф дороги, режим и скорость движения автомобиля. Наиболее экологичным является режим равномерного движения по асфальтированной дороге при скорости 60 км/ч [3]. Удельное выделение углекислого газа в расчете на единицу веса или объема топлива тем больше, чем больше плотность сжигаемого углеводорода [5]. Избыточное содержание углекислого газа в атмосферном воздухе стимулирует усиление парникового эффекта, приводящего к термодинамическому дисбалансу биосферы.

Кроме внедрения электромобилей, рациональной организации и управления транспортными потоками, использования экологически чистых видов топлива [4] одним из направлений, уменьшающим вклад в положительную часть углеродного баланса при использовании ТС, являются лесовосстановительные компенсационные мероприятия.

Всего в настоящее время в мире реализовано более 400 природных климатических проектов. Большая часть из них – лесовосстановительные. В России на сегодняшний день осуществлено всего четыре лесовосстановительных проектов [5]. Согласно ФЗ № 296 от 02.07.2021 и в Пензенской области ведется работа по климатическим проектам, одно из направлений которых – лесомелиорационная и лесовосстановительная.

Целью работы является изучение эмиссии CO₂ автомобильным транспортом в г. Пензе и определения соответствующих объемов и стоимости компенсационных лесовосстановительных мероприятий.

Объект и методы исследования. Исследования по интенсивности автомобильного движения в г. Пензе проводились в 2024-25 гг. Для получения исходных данных проводилось изучение интенсивности передвижения транспортных средств (ТС) и её изменения во времени (в течение суток – 9-10ч, 12-13ч, 17-18 ч и 23-24 ч; дня недели и периода года – осень, зима, весна, лето). Различия состава и интенсивности транспортных потоков было связано с количеством полос движения на проезжей части (1, 2 и 3 полосы). На основе изучения схемы улично-дорожной сети города, а также информации о транспортной нагрузке составляется перечень дорог, сгруппированных по количеству полос движения. Временные различия количества автомобилей в значительной степени были связаны с днем недели и временем суток.

Подсчет проходящих по определенному участку дороги ТС проводится в течение 15 минут 4 раза для каждого периода. Для выявления максимальной транспортной нагрузки наблюдения выполнялись в максимальный период загруженности проезжей части часы (утренний с 07:00 – 09:00 часа и вечерний с 17:00-19:00 часа).

По полученным усредненным показателям движения ТС на различных улицах города были выбраны соответствующие средним эталонные участки дорог (рис. 1):

- 1) участок пр. Строителей имеет три полосы движения, перегон 1000 м;
- 2) участок ул. Суворова – две полосы движения, перегон 735м;
- 3) участок ул. Максима Горького – одна полоса движения, перегон 347 м.

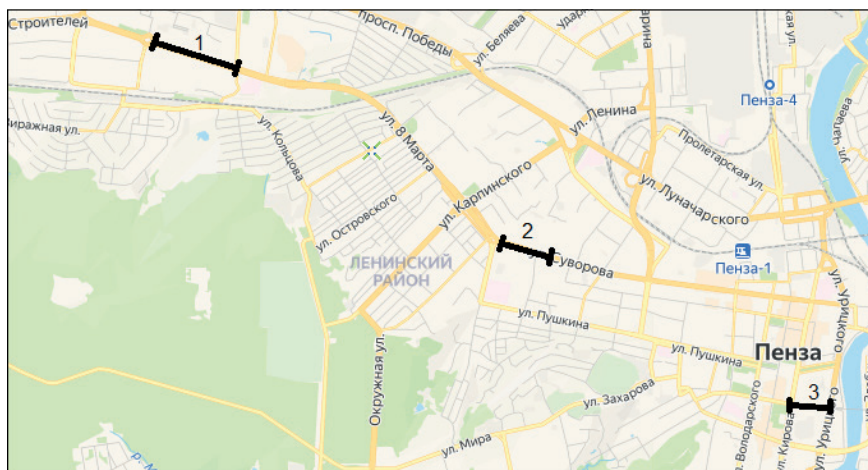


Рис. 1. Расположение эталонных участков автодорог на карте г. Пензы.
Обозначения в тексте

По паспортным данным для большинства автомобилей приняты средние значения расхода топлива в городе: легковые ТС – 10 л/100км, грузовые – 25,5л/100км (СТ).

В расчётах использовались следующие формулы:

Количество автомобилей, проезжающих по каждому участку дороги ($N_{ч}$ шт/час)

$$N_{ч} = N_{15} \oplus 4$$

Среднее количество автомобилей, проезжающих за сутки по участку ($A_{сут/раст}$, шт.)

$$A_{сут/раст} = 24 \oplus \sum N_{ч}/4,$$

где 4 – кол-во данных наблюдений.

Среднее количество автомобилей, проезжающих за сутки по участку на 1 км пути ($V_{авт/сут/1км}$, шт.)

$$V_{авт/сут/1км} = A_{сут/раст}/S/1000,$$

где S – длина участка, м.

Суточный расход топлива, ($C_{сут.расх}$, л/км)

$$C_{сут.расх} = V_{авт/сут/1км} \oplus CT$$

Параметры рассчитывались понедельно для каждого типа дороги, типа ТС, дня недели, после чего производилось суммирование и получение годового расхода топлива, ($C_{год.расх}$ уч л/км.), а умножением на протяженность каждого типа дорог в г. Пензе (данные ИТС ГБУ «Безопасный регион» Пензенской области за период 2024 г.) и плотность топлива получали массовый расход топлива (M, т/год).

Расчет годового выброса CO₂, (E, т/год) производился по формуле

$$E = M \oplus K_1 \oplus THZ \oplus K_2 \oplus 44/12$$

где K_1 – коэффициент окисления углерода в топливе; THZ – теплотворное нетто-значение, Дж/т; K_2 – коэффициент выбросов углерода, тC/Дж; 44/12 – коэффициент для пересчета выбросов углерода в двуокись углерода [7].

Годовой выброс углекислого газа от одного транспортного средства за один год на каждом типе дороги (F_1 , т/год)

$$F_1 = E/N_{год}. \text{ Всего } F_{общ} = \sum F_1.$$

Удельный выброс CO₂ от 1 транспортного средства

$$E_y = E/N_{ср},$$

где $N_{ср}$ – среднее количество автотранспорта на дорогах города в сутки.

Оценка баланса углерода в лесах (Z, т/год) выполнялся по материалам дендрологической съемки территории Ленинско-Золотаревского лесничества в 2025 г с использованием алгоритма РОБУЛ [8] и математических моделей [9], реализованных в программе [10].

Ассимиляция углерода одним гектаром леса (Q, т/год) рассчитывалась по формуле

$$Q = O/P,$$

где O – абсорбция углекислого газа, т/год, $O = Z \oplus 44/12$; P – общая площадь территории, га.

Площадь древостоя аналогичная по составу Ленинско-Золотаревскому лесничеству с максимальной ассимилирующей способностью (40 лет) [11], компенсирующей эмиссию CO₂ от ТС (D, га) рассчитывалась по формуле

$$D = F_{\text{общ}}/Q.$$

Определение годовой компенсации за выделение CO₂ от одного автомобиля (I руб. в год) рассчитывалось по формуле

$$I = D \oplus J,$$

где J – стоимость восстановления одного гектара леса, руб. [12].

Данный алгоритм программировался с помощью ресурсов Excel. Расчет эмиссии CO₂, объема и стоимости компенсационных мероприятий производился на разработанной программе.

Результаты и их обсуждение. Выбросы CO в атмосферу г. Пензы на перекрестках в большинстве случаев превышают максимально разовые ПДК (5 мг/м³ [13]). Средняя концентрация угарного газа составляет $5,65 \pm 0,41$ мг/м³ и может изменяться для порога вероятности безошибочных прогнозов $\beta = 0,95$ от 0,94 до 1,31 ПДК, что констатирует достоверное наличие загрязнения атмосферного воздуха этим веществом.

Этому веществу, как и большинству загрязнителей, требуется время для вступления в реакцию, поэтому важна не только концентрация, но и время воздействия (экспозиция). Данный показатель выражается во времени пребывания людей на перекрестках, что требует дополнительного моделирования воздействия CO на население города.

Основным фактором влияния на загрязнение является мощность потока, что ясно видно из данных регрессионного анализа. Зависимость средней концентрации CO (мг/м³) в приземном слое атмосферного воздуха близ перекрестков города от мощности потока ТС (шт./час) хорошо описывается экспонентой $Y = 2,3292 * e^{0,0004 * x}$ с коэффициентом достоверности по $R_2 = 0,8884$.

Суточная динамика АТС в г. Пензе типична для городов – наибольшая загруженность дорог наблюдается утром и вечером, наименьшая – ночью.

Средний наибольший поток, а, следовательно, и выброс загрязняющих веществ, коррелирует с количеством полос на дороге и наблюдается в субботу, наименьший – для легковых автомобилей в пятницу, грузовых – в понедельник (рис. 2). Это связано с изменением потребности людей к перемещению на выходные дни и в сумме варьирует от 1304 до 1633 шт./час для легковых и от 48 до 102 шт./час для грузовых АТС.

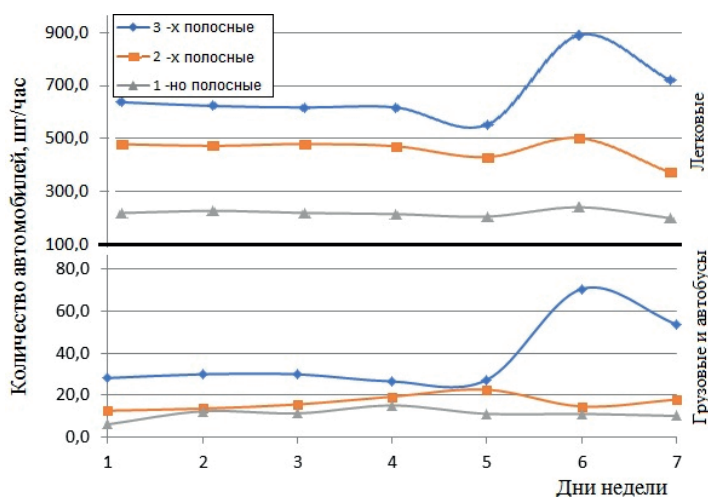


Рис. 2. Средняя недельная динамика транспортного потока в г. Пензе

Годовая динамика также получилась предсказуемой. Наибольшая загруженность транспортом наблюдается в мае-июне, потом постепенно снижается к августу, немного возрастает в сентябре-октябре. Наименьшая наблюдается зимой, причем имеется большая неравномерность ее распределения в зависимости от погодных условий.

Расчет выброса CO₂ от автомобильного транспорта в г. Пензе показал, что всего в год выбрасывается 11769,3 тыс. т оксида углерода, из которого на легковом транспорте приходится 282 тыс. т, на грузовые и автобусы – 6215 тыс. т. (таблица). Наибольший выброс CO₂ наблюдается для легковых автомобилей на двухполосных дорогах, грузовых – трехполосных. Удельный выброс составил для легковых автомобилей – 162,5, для грузовых – 435,7 кг/(год*авт.).

Результаты расчета выброса CO₂ от автомобильного транспорта в г. Пензе

Тип дороги, полос	Протяжённость, км	Годовой расход топлива, л/км	Расход топлива, т/год	Выброс CO ₂ , т/год	Среднее кол-во авт. на дорогах, шт./сут	Удельный выброс CO ₂ , т/(год*авт.)
Легковые						
3	62,86	613641,6	28158,66	86884	1253680	0,0693
2	145	375897,6	39788,76	122769	2037271	0,0603
1	135,75	236496	23436,16	72313	2263378	0,0319
Всего	343,61	–	91383,58	281966	5554329	0,1625
Грузовые						
3	62,86	105337,4	5694,50	17857	71337	0,2503
2	145	34369,9	4285,93	13440	73050	0,1840
1	135,75	22913,3	2675,01	8389	6070584	0,0014
Всего	343,61	–	39686	39686	162620,6	0,4357
Всего	343,61	–	321652	321652	1388655,8	–

Используя дендрологические показатели Ленинско-Золотаревского лесничества по методике [7] нами была рассчитана ассимиляция углекислого газа одним гектаром леса (рис. 3), которая составила 2,82 т/год.

VIII. Расчет объема поглощений парниковых газов лесными землями							
Оценка баланса углерода в лесах, тонн в год=				В переводе на CO ₂ , тонн в год=			
8.1.1. Абсорбция углерода пулом биомассы древостоя		Годичные потери углерода в результате		8.1.10. Абсорбция углерода пулом подстилки		Годичные потери у	
Результат:	общая годовая абсорбция углерода пулом биомассы древостоя (AbP), тонн C год ⁻¹	10,8252	8.1.2. вырубков (LsPH), тонн C год ⁻¹	8.1.3. пожаров (LsPF), тонн C год ⁻¹	Результат:	общая годовая абсорбция углерода пулом подстилки (AbI), тонн C год ⁻¹	0,0875
			0,0000	0,0000			8.1.11. вырубков (LsIH), тонн C год ⁻¹
							0,0000
По породам	Сосна	1,9328	8.1.4. Годичный бюджет углерода по пулу биомассы древостоя (BP), тонн C		По породам	Сосна	0,0235
							8.1.4. Годичный бюд
							биомассы подсти

Рис. 3. Скриншот фрагмента из итоговой таблицы программы расчета ассимиляции углерода (материалы Ленинско-Золотаревского лесничества, участок площадью 4,4 га)

Таким образом, годовой размер компенсационных мероприятий на один автомобиль составит для легковых $0,1625/2,82=0,058$ га, для грузовых $0,4357/2,82=0,155$ га средневозрастного смешанного леса. Учитывая затраты на воспроизводство лесных угодий (26664,09 рублей за 1 гектар [12]) в стоимостном выражении (экологический налог) для легковых автомобилей составит 1546,5 руб. в год, для грузовых – 4132,9 руб.

Заключение. Экологическая ситуация на дорогах города Пенза напряжённая. Все эти факторы требуют принятия мер для сохранения окружающей среды и обеспечения устойчивого развития общества. Одним из инструментов, который может помочь в решении этих проблем,

является введение экологического налога за выделение углекислого газа от автомобильного транспорта в атмосферу. Ставка налога может увеличиваться с ростом объёма выбросов, зависящего от паспортных данных автомобиля и величины годового пробега. Такой подход будет стимулировать владельцев авто к снижению негативного воздействия на окружающую среду, но требует обязательной фиксации годового пробега, например при техосмотре.

Налоги за выделение углекислого газа от автомобилей могут быть использованы для различных целей, направленных на улучшение экологической ситуации и стимулирование перехода к более экологичным видам транспорта. Вот несколько возможных способов использования таких налогов:

Компенсация ущерба окружающей среде: восстановление экосистем, пострадавших от загрязнения воздуха, высадка деревьев на неиспользуемых в хозяйстве территориях.

Финансирование экологических проектов: развитие общественного транспорта, строительство велосипедных дорожек и пешеходных зон, а также на поддержку исследований в области экологически чистых видов топлива и технологий.

Субсидирование развития экологически чистого транспорта (электро и гибридных автомобилей). Это поможет сделать его более доступным для населения.

Развитие инфраструктуры для электромобилей, что позволит ускорить переход к экологически чистому транспорту и сделает его более удобным для использования.

Образовательные программы и кампании. Часть собранных средств можно использовать для проведения образовательных программ и кампаний, направленных на повышение осведомлённости о важности снижения выбросов углекислого газа и перехода к экологически чистым видам транспорта.

Библиографические ссылки

1. Лубянкин А. Н., Алехин А. В. Альтернативные виды топлива для повышения экологичности автомобильного двигателя // В сборнике: Приоритетные направления развития садоводства (I Потаповские чтения). Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 85-й годовщине со дня рождения профессора, доктора сельскохозяйственных наук, лауреата Государственной премии Потапова Виктора Александровича. 2019. С. 63–65.

2. Скоркин А. С., Алехин А. В. Пути повышения эффективности системы питания искровых двигателей // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 4. С. 9.

3. Шатилов О. И., Алехин А. В. Перспективы развития искрового зажигания ДВС // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 4. С. 8.

4. Глушкова В. Г., Шевченко А. Т. Эколого-экономические проблемы России и ее регионов. М.: Московский лицей, 2002. С. 35–40.

5. Голубева А. С., Магарил Е. Р. Совершенствование механизма экономического стимулирования сокращения выбросов CO₂ автомобилями // Транспорт Урала. 2013. № 3 (38). С. 39–44.

6. Международное энергетическое агентство (IEA). URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review> (дата обращения: 06.05.2025).

7. Методика расчета выбросов парниковых газов (CO₂-эквивалента) Расчет парниковых газов от энергетической деятельности предприятий (сжигание топлива) URL: <https://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovykh-gazov>. (дата обращения: 03.10.2025).

8. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. Утверждены распоряжением Минприроды России от 0.06.2017 №20-р. 151 с.

9. Федосеев О. Н., Хурнова Л. М. Моделирование объема древостоя с целью количественного определения поглощения парниковых газов // Международный научно-исследовательский журнал. № 4 (118). Часть 2. Апрель. Екатеринбург, 2022. <https://research-journal.org>, DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.094>.

10. Федосеев О. Н., Шишкин Н. В. Программирование алгоритма расчета запаса углерода в подстилке насаждений преобладающих пород // Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века: материалы междунар. науч.–практ. конф. молодых ученых и исследователей в рамках международного научного форума «Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века», Пенза / [редкол.: С. А. Болдырев и др.]. Пенза: ПГУАС, 2022. 309–313 С.

11. Федосеев О. Н. Оценка ассимиляционного потенциала (по углероду) озеленённой зоны городов (на примере г. Пензы) // Поволжский экологический журнал. 2024. № 2. С. 245–254. doi: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-2-245-254>.

12. Приказ от 19 июня 2019 г. № 762 «Об утверждении нормативов затрат на мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов и величин территориальных коэффициентов».

13. СанПиН 1.2.3685-21. Таблица 1.1. ПДК вредных веществ для атмосферы. URL: https://ekan.ru/sites/docs/PDK_A_Atm.pdf. Дата доступа 1.02.2025.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СТУДЕНТОВ

Л. М. Хурнова¹⁾, А. А. Гарбузова¹⁾

¹⁾ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ул. Германа Титова, 28
440028, г. Пенза, Россия, ie@pguas.ru

Для оценки психоэмоционального состояния студентов первого курса очной формы обучения технического вуза использовали комбинированный метод, включающий метод газоразрядной визуализации (ГРВ) и тест Люшера. Выстроены ряды диапазонов показателей для оценки психоэмоционального состояния, включающие коэффициенты активации, Вольнеффера и Шипоша, применительно к каждому уровню психоэмоционального состояния студентов. Показана возможность применения ГРВ-метода для быстрой диагностики психоэмоционального состояния студентов в течение учебного дня.

Ключевые слова: студенты; психоэмоциональное состояние; ГРВ-метод; тест Люшера; диапазоны показателей; психологическая служба.

COMBINED METHOD FOR ASSESSING STUDENTS' PSYCHOEMOTIONAL STATE

L. M. Khurnova¹⁾, A. A. Garbuzova¹⁾

¹⁾ Penza State University of Architecture and Construction, Herman Titov St., 28
440028, Penza, Russia, ie@pguas.ru

To assess the psychoemotional state of first-year full-time students at a technical university, a combined method was used, which included the gas discharge visualization (GDR) method and the Luscher test. The ranges of indicators for assessing the psychoemotional state were constructed, including the activation, Volneffer, and Shiposh coefficients, for each level of the students' psychoemotional state. The possibility of using the GDR method for rapid diagnostics of the students' psychoemotional state during the academic day was demonstrated.

Keywords: students; psychoemotional state; GRP method; Luscher test; ranges of indicators; psychological service.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-287-291>

Введение. Метод газоразрядной визуализации (ГРВ) получил широкую известность в России в 1930–1940 годах, а в середине XX века вышел на новый уровень развития в результате разработки аппаратного и программного обеспечения. На протяжении последующих лет метод ГРВ был апробирован в различных исследованиях, включая применения метода ГРВ для ранней диагностики развития профессиональных заболеваний [1; 2].

Целью научной работы являлась оценка психоэмоционального состояния студентов первого курса с помощью комбинации биоэлектрографического метода и проективного метода (тест Люшера), выстраивание ряда диапазонов показателей для применения психологической службой вуза и разработки практических решений по адаптации к учебному процессу.

Актуальность работы обусловлена имеющимися научными результатами, подтверждающими появление различных уровней тревожности у студентов в процессе учебной деятельности и необходимости в применении различных мер для их адаптации, поддержания работоспособности в течение учебного дня [3–5].

Материалы и методы. Съемка ГРВ-грамм проводилась у группы студентов очной формы обучения первого курса (18 человек) в 09.00 и в 14.00 в течение учебной недели. Для снятия ГРВ-грамм использовали камеру GDV-Capture (сертификат Минздрава РФ №РЗН 2025/1234). Снятие ГРВ-грамм проводили с пальцев левой и правой рук с фильтром (для устранения влияния вегетативного фактора на кожу пальцев) и без фильтра. ГРВ-граммы обрабатывали с помощью программы GDV Diagram, психоэмоциональное состояние оценивали по значению коэффициента активации с точки зрения критериев нормы, избыточности или недостаточности.

Тест Люшера проводили по стандартной методике, обработку результатов проводили, рассчитывая коэффициенты Вольнеффера и Шипоша [6].

Обсуждение результатов. Психоэмоциональное состояние студентов оценивалось по значению одного из ГРВ-индексов – коэффициента активации (рис.1), используемого для анализа уровня эмоциональной напряжённости человека.

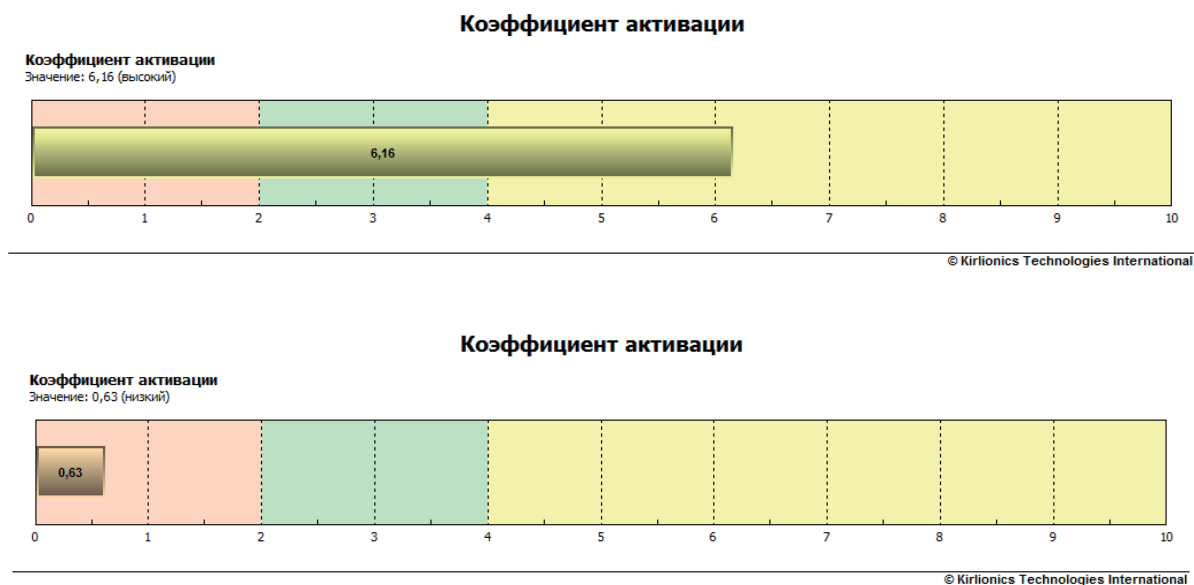


Рис. 1. Вид ГРВ-грамм после обработки с коэффициентами активации

На рис. 2 показано, как менялась психоэмоциональная структура у группы студентов в 09.00 и в 14.00 часов в течение учебной недели [3].

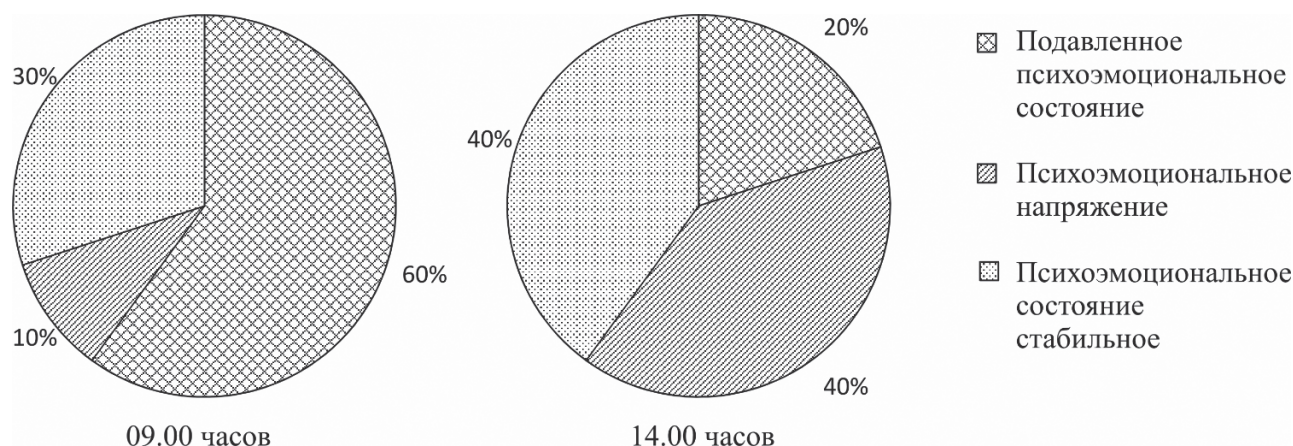


Рис. 2. Изменения структуры психоэмоционального состояния студентов

С целью выстраивания ряда показателей комбинированного метода оценки психоэмоционального состояния проводили тестирование студентов методом Люшера. На рис. 3 представлены диапазоны показателей комбинированного метода для оценки психоэмоционального состояния студентов.

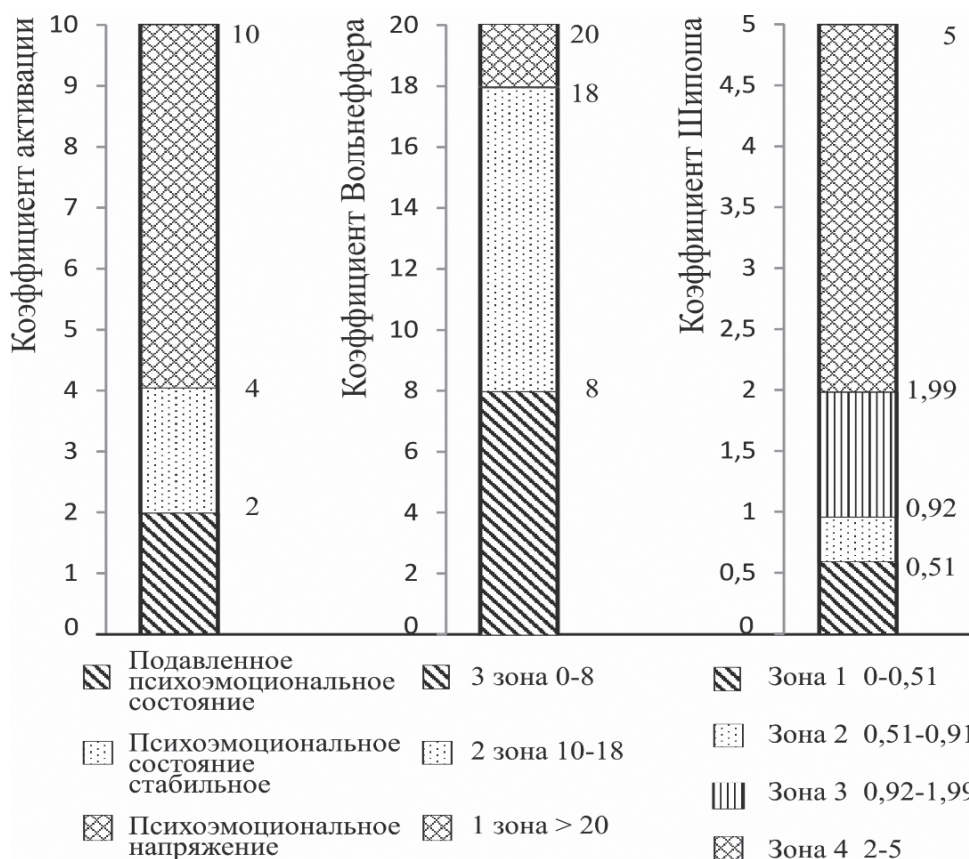


Рис. 3. Показатели комбинированного метода оценки психоэмоционального состояния студентов

В таблице представлены полученные результаты оценки психоэмоционального состояния студентов первого курса с помощью различных показателей.

При этом для каждого уровня психоэмоционального состояния студентов выстроен ряд диапазонов показателей, включающий значения коэффициента активации, коэффициентов Вольнеффера и Шипоша.

Обращает на себя внимание тот факт, что подавленное психоэмоциональное состояние студента может быть связано как с временным нарушением режима, в первую очередь, нарушением сна, так и постоянным нарушением режима, что, безусловно, ведет к системным нарушениям функционирования организма и крайне опасно для психического состояния и здоровья.

Также следует отметить, что только по показателям теста Люшера достаточно сложно отличить подавленное психоэмоциональное состояние от стабильного уровня из-за повторяемости диапазонов коэффициентов Вольнеффера и Шипоша. И здесь комбинация ГРВ-метода и теста Люшера является более информативной, позволяя выявить индивидуальные особенности студентов.

Из данных таблицы следует, что ГРВ-метод может рассматриваться как метод быстрой диагностики психоэмоционального состояния студентов первого курса, для которых проблема адаптации остается одной из приоритетных.

Показатели ГРВ-метода и теста Люшера для различных уровней психоэмоционального состояния студентов

Уровень психоэмоционального состояния студента	ГРВ-метод	Тест Люшера		Интерпретация результатов
	Диапазон коэффициента активации	Диапазон коэффициента Вольнеффера	Диапазон коэффициента Шипоша	
Подавленное психоэмоциональное состояние	0-2	10-18	0,92-1,99	Изменение работоспособности в течение учебного дня. Подавленное состояние носит кратковременный характер (утренние часы).
			2,0-5,0	Некомпенсированное утомление. Подавленное состояние сохраняется в течение учебного дня. Жизнь на пределе своих возможностей.
Усиление психоэмоционального состояния	>4-10	0-8	0,51-0,91	Компенсированное состояние усталости. Самовосстановление работоспособности за счет резервов организма.
Психоэмоциональное состояние стабильное	>2-4	10-18	0,92-1,99	Поддержание работоспособности в течение учебного дня

Выводы. В результате проведенного исследования показана возможность применения комбинированного метода, включающего ГРВ-метод и тест Люшера, для оценки психоэмоционального состояния студентов вуза первого курса очной формы обучения.

Выстроены ряды диапазонов показателей оценки психоэмоционального состояния студентов с помощью комбинированного метода, включающего значения коэффициента активации (ГРВ-метод), коэффициентов Вольнеффера и Шипоша (тест Люшера) применительно к каждому уровню психоэмоционального состояния, что позволяет рекомендовать их для применения психологической службой вуза. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности применения метода ГРВ для быстрой диагностики психоэмоционального состояния студентов первого курса с целью выработки практических решений по их адаптации к учебному процессу в вузе.

Следует рекомендовать образовательным организациям включать утреннюю физическую активность (утреннюю гимнастику) в структуру учебного дня, обеспечивая доступность занятий для всех категорий студентов и разнообразие видов активности. Для повышения эффективности предлагается использовать комбинацию общефизических упражнений и легких кардионагрузок [7].

Библиографические ссылки

1. Метод биоэлектрографии для диагностики профессиональных заболеваний у работников рабочей профессии испытатель двигателей / Л. Д. Хурнова [и др.] // Образование и наука в современном мире. Инновации: электронный научный журнал. 2025. №5 (60). С. 142–148.

2. Оценка пригодности метода газоразрядной визуализации для раннего выявления профессиональных заболеваний у работников рабочей профессии испытатель двигателей / Д. Ю. Зиновьев [и др.] // Образование и наука в современном мире. Инновации: электронный научный журнал. 2025. №6 (61). С. 148–156

3. Кудрявцева Е. А., Хурнова Л. М. Применение метода газоразрядной визуализации для оценки психоэмоционального состояния студентов // Сборник докладов Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Моисеевские чтения-2025». Пенза. ПГУАС: электронная версия. 2025. С. 249–252.

4. Александров А. Г., Лукьянёнков П. И. Изменение уровней тревожности студентов в условиях учебной деятельности // Научное обозрение. Медицинские науки. 2016. № 6. С. 5–14.

5. Немов Р. С. Психология: учебник для студентов высших педагогических учебных заведений – М.: ВЛАДОС, 2013. 576 с.

6. Прохоров, А. О. Методики диагностики и измерения психических состояний личности / А. О. Прохоров. М.: ПЕР СЭ, 2004. 176 с.

7. Турбина Е. Г., Маркин А. В. Физические упражнения как средство адаптации студентов первого курса высших учебных заведений // Наука и практика в образовании: электронный научный журнал. 2023. Т. 4. № 1. С. 28–32

КРУГЛЫЙ СТОЛ 1

АКТУАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI-ГО ВЕКА

КАК ПРАВИЛЬНО ПИСАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕМАТИКЕ: МОТИВАЦИЯ, ПОДГОТОВКА И ПУБЛИКАЦИЯ

Б. Крстич¹⁾, О. И. Родькин²⁾, Д. Станкович³⁾, М. Никчевич³⁾, Дж. Крстич⁴⁾

¹⁾ Университет Нови-Сада, факультет биологии и экологии, Trg Dositeja Obradovića 2, г. Нови Сад 21000, Сербия, borivoj.krstic@dbe.uns.ac.rs

²⁾ Учреждение образования «Международный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, aleh.rodzkin@rambler.ru

³⁾ Институт междисциплинарных исследований, Белград, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Белград, Сербия, dstankovic@imsi.bg.ac.rs

⁴⁾ Университет Нови-Сада, факультет сельского хозяйства, Trg Dositeja Obradovića 2, г. Нови Сад 21000, Сербия

В статье обосновывается необходимость и приводятся основные аспекты публикации результатов исследований в области охраны окружающей среды. Публикация результатов является обязательным элементом профессиональной деятельности ученого, независимо от должности, статуса и заслуг. Для успешной публикации необходимо следовать принятым стандартам подготовки статьи. В статье также приведена информация о возможности и условиях бесплатной публикации, в том числе в англоязычных журналах. Предложена пошаговая инструкция и алгоритм действий для автора по публикации результатов экологических исследований в рецензируемом журнале.

Ключевые слова: экологические исследования; научная публикация; рейтинговый научный журнал.

HOW TO WRITE RESEARCH ARTICLES ON ENVIRONMENTAL TOPICS: MOTIVATION, PREPARATION, AND PUBLICATION

B. Krstic¹⁾, O. I. Rodzkin²⁾, D. Stankovic³⁾, M. Nikcevic³⁾, D. Krstic⁴⁾

¹⁾ University of Novi Sad, Faculty of Biology and Ecology, Trg Dositeja Obradovića 2, г. Нови Сад 21000, Serbia, borivoj.krstic@dbe.uns.ac.rs

²⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, aleh.rodzkin@rambler.ru

³⁾ Institute for Interdisciplinary Studies, Belgrade, Kneza Višeslava 1, 11000 Belgrade, Serbia, dstankovic@imsi.bg.ac.rs

⁴⁾ University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 2, г. Нови Сад 21000, Serbia,

This article substantiates the need for and outlines the main aspects of publishing research results in the field of environmental protection. The publication of research findings is a mandatory element of a scientist's professional activity, regardless of position, status, and achievements. For successful publication, it is necessary to adhere to accepted article preparation standards. The article also provides information on the availability and conditions of free publication, including in English-language journals. It also offers step-by-step instructions and a workflow for authors to follow when publishing environmental research results in a peer-reviewed journal.

Keywords: environmental research; scientific publication; top-rated scientific journal.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-292-296>

Публикация результатов своих научных исследований – это обязательный и важный элемент профессиональной деятельности ученого, независимо от должности, статуса и заслуг.

К числу основных причин-мотиваторов для опубликования можно отнести следующие:

- 1) продвижение по службе (карьерный рост);
- 2) утверждение (имя, известность) в профессиональной сфере;
- 3) утверждение (авторитет среди коллег, руководства и подчиненных) на рабочем месте;
- 4) личное стремление к совершенствованию;
- 5) рост личного рейтинга и организации, в которой вы работаете через публикации в отечественных и зарубежных журналах.

Для преподавателя, аспиранта или студента наряду с научными публикациями необходимым (обязательным) условием является подготовка учебных и методических работ, результаты которых также могут быть частично или полностью опубликованы, в том числе в научных изданиях, например:

- 1) образовательные публикации: дипломная работа, магистерская, кандидатская и докторская диссертация;
- 2) учебники, учебные и методические пособия, монографии, главы в книгах, рецензии на книги, публикации в СМИ.

Научные публикации имеют также ряд специфических аспектов. По задачам это может быть: оригинальная научная работа, обзорная работа, работа, ориентированная на конкретных потребителей, например, научные специфические семинары и конференции.

Для участия в конференциях важна не только публикация, но и представление результатов, которые могут быть в виде: предварительное объявление (анонс), устная презентация, постерная презентация, доклад на семинарах, отчет об эксперименте.

Также ряд публикаций имеет не только научный, но и просветительский характер, но тем не менее напрямую влияет на рейтинг (авторитет) автора работы. Например: письмо в редакцию журнала или сборника (обзор), исторический обзор по определенному профессиональному аспекту, рекомендации (рекомендательное письмо), аннотации к выпускам журналов, сборников, монографий, памяти-In memoriam ушедших коллег.

Написание качественной научной работы для опубликования в научных журналах в области охраны окружающей среды требует не только глубоких знаний предмета, но и строгого соблюдения академических стандартов.

Для того чтобы статья была принята в международную базу цитирования или высокорейтинговый национальный журнал, она должна иметь четкую логическую структуру и соответствовать структуре научной статьи, которая получила название – стандарт IMRAD.

Основные разделы этого неофициального стандарта включают:

- 1) аннотация (Abstract): сжатое изложение сути работы (актуальность, цель, методы, основные результаты);
- 2) введение (Introduction): обоснование актуальности темы. Здесь формулируется научная проблема и анализируется состояние вопроса на основе существующих исследований;
- 3) представление методики исследований (Materials and Methods): Подробное описание объектов исследования (например, конкретная экосистема или тип загрязнения), приборов, химических реактивов и статистических методов обработки данных. Информация должна быть достаточной для воспроизведения эксперимента другими учеными;
- 4) результаты и обсуждение (Results and Discussion): представление полученных данных в виде таблиц, графиков и карт. Сравнение своих результатов с данными других авторов;
- 5) заключение (Conclusion): Краткие выводы, подтверждающие достижение поставленной цели, и практические рекомендации по охране среды;
- 6) список литературы (References): перечень источников, на которые даны ссылки в тексте.

Важным для исследователя вопросом является поиск и условия публикации. Например, где можно публиковаться бесплатно?

Многие авторитетные журналы, входящие в перечни ВАК или индексируемые в Scopus/ Web of Science, не взимают плату с авторов. Доход таких изданий формируется за счет подписки библиотек или поддержки профильных университетов и ведомств.

Примеры таких изданий (экологический профиль) доступных для ученых из Республики Беларусь и стран СНГ приведены ниже:

1) «Экология» (Russian Journal of Ecology): академическое издание, охватывающее фундаментальные вопросы экологии;

2) «Проблемы региональной экологии»: фокусируется на прикладных аспектах и гео-экологии;

3) «Журнал БГУ.Экология»: издание МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ;

4) «Матица Србска»: Издание Университета Новы Сад, Сербия.

Что бы опубликовать статью бесплатно необходимо учитывать следующие аспекты:

1) выбирайте журналы без модели Open Access: в модели «Open Access» платит автор, а читает весь мир бесплатно. В традиционных журналах (Subscription-based) автор не платит ничего, но доступ к статье имеют только подписчики;

2) соблюдайте правила оформления: часто статьи отклоняют на этапе предварительного скрининга из-за нарушения ГОСТа или внутреннего стиля журнала. Тщательная выверка текста экономит время и деньги;

3) используйте грантовую поддержку: если ваше исследование поддержано фондом (например, БРФФИ или РНФ), расходы на публикацию могут быть заложены в бюджет гранта.

Отличный способ вывести ваше исследование на международный уровень – это публикация в англоязычных журналах. Здесь главный секрет бесплатной публикации заключается в выборе гибридной модели (Hybrid journals) которая доступна в ряде журналов. В таких изданиях вы выбираете вариант «Subscription» (подписка): вы не платите за публикацию, а журнал зарабатывает на том, что продает доступ к статье библиотекам.

Ниже приведен список и информация для некоторых авторитетных журналов в области охраны окружающей среды, и пошаговая инструкция как можно опубликоваться.

1. Science of the Total Environment (Elsevier)

1) характеристика: один из самых цитируемых журналов в мире по экологии. Публикует междисциплинарные исследования, связывающие атмосферу, гидросферу, биосферу и антропогенную деятельность;

2) почему подходит: очень широкий охват тем. Если ваша работа качественная и масштабная, она идеально впишется;- Стоимость: бесплатно при выборе модели подписки.

2. Environmental Pollution (Elsevier)

1) характеристика: фокусируется на загрязнении окружающей среды и его воздействии на экосистемы и здоровье человека;

2) почему подходит: если ваша статья посвящена конкретным загрязнителям (пластик, тяжелые металлы, пестициды), этот журнал – лучший выбор;

3) стоимость: бесплатно (модель подписки).

3. Journal of Cleaner Production (Elsevier)

1) характеристика: журнал о технологиях, которые помогают снизить нагрузку на природу. Темы: устойчивое развитие, переработка отходов, «зеленая» экономика;

2) почему подходит: Идеален для статей с практическим уклоном (например, как внедрение методики поможет предприятию меньше загрязнять среду);

3) стоимость: бесплатно (модель подписки).

4. Global Journal of Environmental Science and Management (GJESM)

1) характеристика: Престижный журнал (Q1 в Scopus), который специализируется на управлении окружающей средой и планировании;

2) почему подходит: Высокая видимость исследования при полном отсутствии платы за публикацию (Platinum Open Access), если статья пройдет жесткий отбор;

Пошаговая инструкция, ориентированная именно на англоязычные журналы включает:

Шаг 1. Перевод и адаптация (Academic English)

Простого перевода недостаточно. Англоязычные журналы требуют лаконичности и активного залога («We analyzed...» вместо «Analysis was conducted...»). Используйте сервисы вроде DeepL для базового перевода и Grammarly или ChatGPT для придания тексту научного стиля.

Шаг 2. Выбор модели

При загрузке статьи в систему (например, Editorial Manager) вас спросят: «Do you want to publish Open Access?».

– Чтобы опубликоваться бесплатно, выбирайте «No» или «Subscription». Если выберете «Yes», вам выставят счет на сумму от \$2000 до \$4000.

Шаг 3. Подготовка Submission Package

Для англоязычного журнала вам понадобятся:

– Main Manuscript: текст статьи без имен авторов (для анонимного рецензирования).

– Title Page: Файл с именами авторов, их должностями и контактами.

– Highlights: 3–5 коротких предложений (буллитов), описывающих главные достижения статьи.

– Cover Letter: Письмо редактору (кратко: что нового в статье и почему она важна для мира).

Шаг 4. Рецензирование (Peer Review)

Процесс занимает от 2 до 6 месяцев. Вы получите один из ответов:

– Ассерт: Принято (бывает редко с первого раза).

– Minor/Major Revision: Нужно внести правки. Это хороший знак! Исправьте всё по пунктам и отправьте снова.

– Reject: Отказ. Не расстраивайтесь – просто оформите статью под требования другого журнала из списка.

Таким образом, алгоритм действий для автора по публикации в рецензированном журнале включает:

1) выбор журнала: найдите издание в РИНЦ или Scopus, соответствующее вашей узкой теме (например, «мониторинг почв» или «экономика природопользования»);

2) изучение требований: скачайте «Правила для авторов» на сайте журнала. Обратите внимание на требования к объему и формату рисунков;

3) проверка на плагиат: оригинальность текста должна составлять не менее 80–85%;

4) подача через онлайн-редакцию: Большинство современных журналов принимают рукописи через личный кабинет на сайте;

5) работа с рецензентами: будьте готовы к правкам. Бесплатная публикация подразумевает строгое рецензирование экспертами;

6) чек-лист: проверка готовности статьи по экологии к публикации;

7) содержание и структура (Стандарт IMRAD);

8) техническое оформление:

Форматирование: текст соответствует требованиям журнала (шрифт, кегль, межстрочный интервал, поля);

Иллюстрации: все рисунки имеют высокое разрешение (обычно от 300 dpi), подписи к ним переведены на английский (если требует журнал);

Ссылки: Проверено соответствие ссылок в тексте списку литературы. Формат списка соответствует ГОСТу или стилю APA/Harvard;

Объем: Статья укладывается в лимиты журнала (обычно 8–15 страниц для полной статьи или до 4 для краткого сообщения).

– Этические и юридические аспекты;

Авторство: указаны аффилиации всех соавторов (место работы/учебы) и их контакты;

Конфликт интересов: указано отсутствие конфликта интересов (или источник финансирования/грант);

Первичная публикация: данный материал ранее нигде не публиковался и не находится на рассмотрении в другом журнале.

– Взаимодействие с редакцией:

Сопроводительное письмо (Cover Letter): подготовлено краткое письмо редактору с пояснением, почему статья подходит именно этому журналу;

Сведения об авторах: подготовлен отдельный файл с ФИО, учеными степенями, ORCID и адресами.

Личный кабинет: все файлы (текст, рисунки отдельно, таблицы) загружены в соответствующие разделы системы подачи.

Библиографические ссылки

1. *Кузнецов И. Н.* Научные работы: методика подготовки и оформления : учеб. пособие. Москва : Дашков и К, 2023. 452 с.

2. Эколого-биологические аспекты охраны окружающей среды : сб. науч. ст. / под ред. А. В. Иванова. Минск : Изд-во БГУ, 2024. 120 с.

3. *Шимко Т. Г.* Методология написания научных статей по техническим и экологическим дисциплинам. Санкт-Петербург : Наука, 2022. 98 с.

4. *Реймерс Н. Ф.* Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) Москва : Россия Молодая, 1994. 367 с. (Классическое пособие для методологической базы).

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ТОПЛИВА ИЗ ТВЕРДЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

О. И. Родькин¹⁾, Г. И. Морзак²⁾, К. А. Сырникова²⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, rodzkin@iseu.by

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65, 220013 г. Минск, Беларусь, ecology@bntu.by

Национальной «Стратегией по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь» определены показатели использования твердых коммунальных отходов к уровню их образования. Объемы использования твердых коммунальных отходов постоянно растут. Максимальное вовлечение твердых производственных и коммунальных отходов для производства энергии предполагает модернизацию всех стадий системы обращения с отходами. Наиболее перспективным направлением использования отходов в энергетических целях является производство и использование RDF-топлива.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы; RDF-топливо; технология производства топлива; газоочистные установки; пылеулавливающие устройства.

PROSPECTS FOR PRODUCING RENEWABLE FUEL FROM SOLID INDUSTRIAL AND COMMUNAL WASTE

O. I. Rodzkin¹⁾, G. I. Morzak²⁾, K. A. Syrnikova²⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, rodzkin@iseu.by

²⁾ Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus

The National «Strategy for the Management of Production and Consumption Waste in the Republic of Belarus» defines the indicators for the use of municipal solid waste in relation to its generation. The volume of municipal solid waste used is constantly increasing. The maximum involvement of municipal and production waste in energy production requires the modernization of all stages of the waste management system. The most promising area for using waste for energy purposes is the production and use of RDF-fuel.

Keywords: municipal solid waste; RDF-fuel; fuel production technology; gas purification systems; dust collection systems.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-297-301>

Объемы использования твердых коммунальных отходов в Республике Беларусь составляют около 4 млн тонн в год [1]. По видам экономической деятельности объемы образования потенциально горючих отходов, которые частично могут быть использованы для энергетических целей, составляют:

- производство изделий из дерева и бумаги; полиграфическая деятельность и тиражирование информации записанных носителей – около 1, 4 млн тонн;
- производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха – около 80 тыс. тонн;
- производство резиновых и пластмассовых изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов около – 2,5 млн тонн.

В соответствии с Национальной «Стратегией по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь» обозначены объемы использования твердых коммунальных отходов (ТКО) до 2035 года. Так, этот показатель к 2030 должен составить 70% от их объема образования. Достичь такого уровня возможно при условии развития и модернизации нынешней системы обращения с ТКО, путем внесения изменений в системы учета количественного и качественного состава ТКО и вторичных материальных ресурсов, развития логистики раздельного их сбора и возможности энергетического использования [2]. В Беларуси уровень использования твердых коммунальных отходов из их общего объема постоянно растет.

По результатам изучения наилучших доступных технических практик в Минске обоснована возможность использования порядка 500–550 тыс. тонн в год ТКО. Утилизация данного вида отходов позволит заместить импортируемый природный газ, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, а также исключить необходимость расширения действующих или создания новых полигонов для их захоронения [3].

Одним из перспективных направлений использования отходов в энергетических целях является производство и экологически обоснованное использование RDF-топлива. RDF-топливо – это термин, который вошел в практику от английского Refuse Derived Fuel, т. е. топливо, полученное из отходов. Под этим названием подразумевается вид твердого топлива, производимый из отсортированных бытовых и промышленных отходов. Как правило, RDF-топливо состоит из следующих основных компонентов: пластик, бумага, картон, текстиль, резина и дерево [4].

Производственные линии по изготовлению топлива из твердых отходов включают несколько основных подпроцессов, в том числе магнитную сортировку, измельчение, уменьшение размера частиц и просеивание (рис. 1).

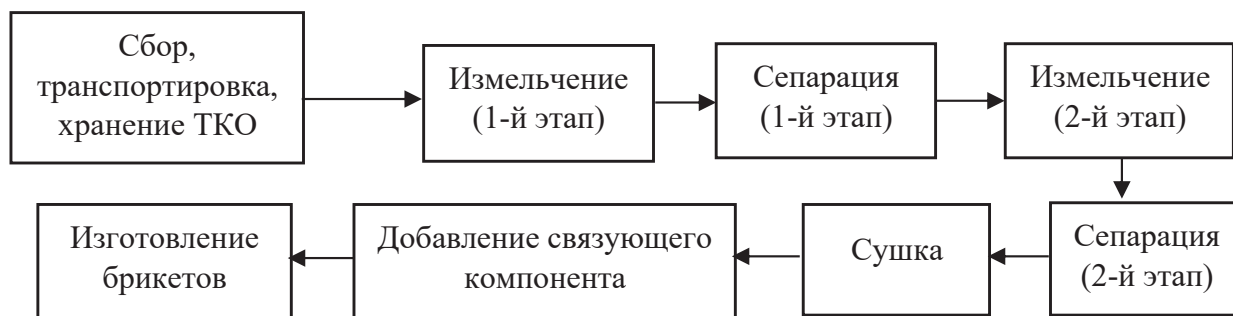


Рис. 1. Основные стадии технологического процесса производства RDF- топлива

Оптимальные параметры достигаются благодаря предварительной обработке с использованием современного измельчительного оборудования, как традиционных молотковых дробилок, так и новых измельчителей с режущим механизмом. Инертные материалы, такие как металл, стекло и керамика, отделяются от потока отходов. Топливо из отходов получают либо в виде рыхлого материала, либо путем сушки, измельчения, прессования и экструзии горючей фракции в гранулы или брикеты.

В настоящее время топливо также получают из отходов, остающихся вне зоны раздельной переработки бумаги и пластика. В то время как RDF получают в результате переработки ТКО, уплотненное топливо, полученное из отходов, является продуктом экструзии или прокатки RDF для производства брикетов, гранул и т. д.

Измельченное RDF находит более полезное применение в реакторах с псевдоожиженным слоем. Требования к качеству RDF обычно устанавливаются конечным пользователем. Если конечным пунктом назначения является специализированный завод по переработке отходов в энергию, критерии качества могут быть низкими. В этом случае предварительная обработка отходов не требуется, поскольку завод будет работать в соответствии со строгими правилами и будет оснащен оборудованием для удаления и очистки выбросов. Если RDF будет использоваться для совместного сжигания или в рамках промышленного процесса, такого как производство цемента, необходимо обеспечить соблюдение определенных критериев качества, чтобы избежать технических недостатков, таких как коррозия, негативное воздействие на продукт или нежелательные выбросы в атмосферу.

Наличие и создание новых производств, использующих отходы в качестве топлива, требует внедрения более совершенных методов охраны окружающей среды и прежде всего атмосферного воздуха. Энергетическое использование отходов ограничивается их зольностью и содержанием химических соединений в их составе. При сжигании отходов возникает риск увеличения выбросов в атмосферный воздух твердых частиц, соединений свинца, кадмия, цинка и других тяжелых металлов, загрязнения летучими органическими и пахучими соединениями.

Зольность топлива измеряется в процентах и показывает долю минеральных примесей в единице веса топлива соответствующего вида. В зависимости от способа сжигания топлива, наличия и эффективности улавливающих фильтров, превращение минеральной составляющей топлива в атмосферный загрязнитель происходит по схеме, представленной на рис. 2.

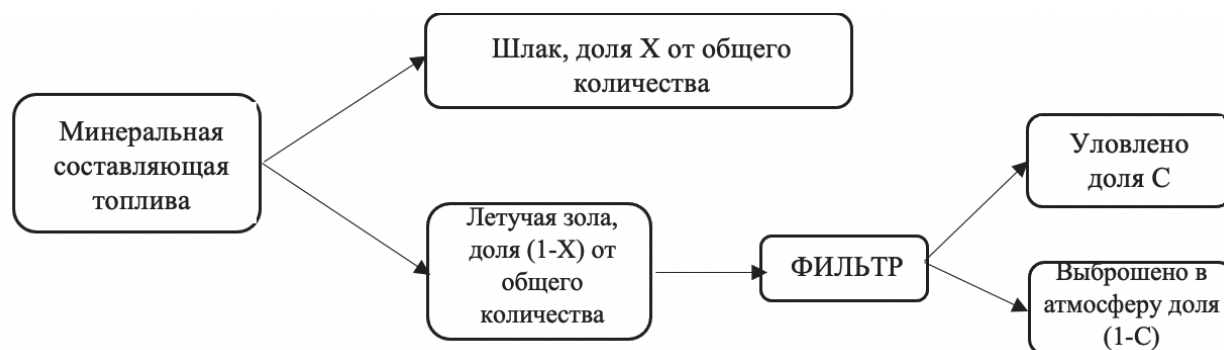


Рис. 2. Схема превращения минеральной составляющей топлива в загрязняющие вещества атмосферы

Основные технические решения, позволяющие существенно уменьшать отрицательное воздействие на окружающую среду от сжигания топлива, базируются в основном на совершенствовании технологий подготовки топлива и улавливания загрязняющих веществ. К числу основных решений относятся следующие:

- использование и совершенствование очистных устройств. В настоящее время улавливаются в основном твердые выбросы с помощью различного вида фильтров;
- предварительная десульфурация топлива химическими или физическими методами для уменьшения поступления соединений серы в атмосферу, в результате чего удается извлечь из топлива от 50 до 70 % серы до момента его сжигания;
- рассеивание выбросов путем изменения высоты труб на энергетических предприятиях, более рационального их размещения, усиления контроля за выбросами и экологическое

управление тепловыми технологическими режимами с использованием экологически чистых топлив. Такое решение приведет к уменьшению концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы и обеспечит экологическую безопасность эксплуатации энергетических установок.

Поэтому необходимо разработать и внедрить технологию производства топлива на возобновляемой основе из твердых производственных и коммунальных отходов с улучшенными характеристиками, направленными на снижение воздействия на окружающую среду. Концепция рационального и эффективного использования отходов требует разработки логистики на всех этапах обращения с отходами: при сборе, транспортировке, хранении, подготовке, производстве и сжигании топлива. Такой подход позволит снизить воздействие на окружающую среду, уменьшить затраты на утилизацию, переработку, хранение и захоронение отходов, увеличить долю перерабатываемых отходов.

При производстве возобновляемого топлива необходимо оптимизировать его состав и структуру с учетом содержания химических соединений в различных компонентах. При сжигании топлива, полученного из отходов, необходимо использовать наиболее эффективные газоочистные установки (ГОУ) для улавливания пыли и очистки газовых выбросов с учетом требований экологических нормативов.

Наиболее распространенным типом механических пылеуловителей являются циклоны, которые имеют более 20 модификаций оборудования. Наиболее эффективным пылеулавливающим устройством является рукавный фильтр. Возможность улавливания фракций размером менее 1 мкм при любых концентрациях взвешенных частиц в газах, нагретых до высокой температуры, обеспечило широкое распространение данных аппаратов очистки. Однако необходимость периодической замены рукавных фильтров, высокий расход электрической энергии, громоздкость установок, и как следствие, необходимость иметь значительные свободные площади не всегда позволяет найти применение. В единичных случаях для очистки газовых выбросов от загрязняющих веществ допускается использование оборудования с каталитическим методом очистки. Оно отличается низкой пропускной способностью (производительностью), и имеет высокую стоимость. Эффективность использования рукавных фильтров для снижения содержания твердых частиц в выбросах в атмосферный воздух показана на примере использования отходов сельскохозяйственного производства в энергетических целях [5].

Для более активного внедрения технологий использования отходов в топливных целях необходимо исследование эффективности газоочистных установок для очистки выбросов при сжигании твердых отходов с учетом их состава и разработка предложений по их модернизации. В результате будут обоснованы и предложены новые технологические решения для производства возобновляемого топлива из твердых производственных и коммунальных отходов с учетом нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Также необходимо детальное экологическое обоснование эффективности использования твердых видов отходов на энергетические цели, что позволит увеличить объем их переработки без превышения нормативов допустимого воздействия на атмосферный воздух.

Библиографические ссылки

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchayasreda/okruzhayuschaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/> (дата обращения: 20.02.2026).

2. О стратегия по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 21 авг. 2025 г., № 44 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500444>. (дата обращения: 20.02.2026).

3. Об энергетическом использовании твердых коммунальных отходов URL: <https://www.minenergo.gov.by/press/novosti/ob-energeticheskom-ispolzovanii-tverdykh-kommunalnykh-otkhodov/>. (дата обращения: 20.02.2026).

4. Król Danuta, Poskrobko Sławomir “High-methane gasification of fuels from waste – Experimental identification,” *Energy*, Elsevier, vol. 116(P1), 2016. pages 592–600.

5. Эколого-технологические аспекты использования местных видов топлива на основе биомассы в энергетических целях / О. И. Родькин [и др.] // «Научные горизонты» № 7(83), 2024, с. 72–86.

КРУГЛЫЙ СТОЛ 2

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ И МЕЖДУНАРОДНОЙ КОММУНИКАЦИИ

ИНТЕГРИРОВАННОЕ ПРЕДМЕТНО-ЯЗЫКОВОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПОЛИКУЛЬТУРНОМ ВУЗЕ: СИНХРОНИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ КУРСОВ РУССКОГО И АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКОВ

Т. В. Беляева¹⁾, Ю. И. Буткевич¹⁾, Г. В. Третьяк¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kfl@isei.by

В статье обосновывается актуальность и необходимость синхронизации содержания дисциплин «Русский язык как иностранный» и «Иностранный язык. Английский язык» для иностранных студентов, обучающихся в МГЭИ им. А.Д. Сахарова. Предлагаемая модель обучения, основанная на методологии предметно-языкового интегрированного обучения (CLIL) и теории когнитивной/академической языковой компетенции (CALP), предполагает тематическое единство языковых модулей: социокультурного на первом и профессионального на втором курсах. Анализируются преимущества данного подхода для интенсификации учебного процесса, повышения мотивации студентов и формирования целостной билингвальной профессиональной личности.

Ключевые слова: предметно-языковое интегрированное обучение (CLIL); русский язык как иностранный (РКИ); билингвальное обучение; поликультурный вуз; академическая языковая компетенция (CALP); межпредметные связи.

CONTENT AND LANGUAGE INTEGRATED LEARNING (CLIL) IN A MULTICULTURAL UNIVERSITY: SYNCHRONIZING THE CONTENT OF RUSSIAN AND ENGLISH LANGUAGE COURSES

T. V. Belyaeva¹⁾, Yu. I. Butkevich¹⁾, G. V. Tretyak¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kfl@isei.by

The article substantiates the relevance and necessity of synchronizing the content of the disciplines “Russian as a Foreign Language” and “Foreign Language. English” for international students studying at the A.D. Sakharov International State Ecological Institute (ISEI). The proposed educational model, based on the methodology of Content and Language Integrated Learning (CLIL) and the theory of Cognitive/Academic Language Proficiency (CALP), presupposes the thematic unity of the language modules: a socio-cultural module in the first year and a professional module in the second year. The advantages of this approach for intensifying the educational process, increasing student motivation, and forming a holistic bilingual professional persona are analyzed.

Keywords: content and language integrated learning (CLIL); Russian as a foreign language (RFL); bilingual education; multicultural university; Cognitive Academic Language Proficiency (CALP); interdisciplinary connections.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-302-306>

В современной высшей школе проходит этап глобальной интеграции и увеличения потока студентов между университетами разных стран. Все больше вузов открывают свои двери для обучающихся из-за рубежа, для которых язык обучения не является родным. В этой ситуации перед нашим институтом стоит сложная задача: не только обеспечить освоение студентами профессиональных компетенций, но и интегрировать их в новую социокультурную и языковую среду. Традиционный подход, при котором языковые дисциплины существуют изолированно друг от друга и от профильных предметов, часто оказывается малоэффективным. Особенно остро эта проблема стоит в ситуации, когда студенты изучают одновременно два языка – русский (как язык среды и обучения) и английский (как язык международного общения). Преподаватели кафедры лингвистических дисциплин и межкультурных коммуникаций в настоящее время разрабатывают модель обучения, основанную на синхронизации содержания курсов русского и английского языков и их интеграции с профессиональными дисциплинами.

Рассматриваемая в данном исследовании модель обучения основывается на нескольких фундаментальных педагогических и психолингвистических теориях. Ключевой методологической основой выступает предметно-языковое интегрированное обучение, или Content-Language Integrated Learning (CLIL), которое успешно применяется в МГЭИ при обучении иностранному языку белорусских студентов на протяжении долгого времени. CLIL условно делят на hard CLIL и soft CLIL. Hard CLIL означает, что любой изучаемый предмет может проходить на английском языке (при условии, что он является вторым языком для учащихся). В преподавании иностранного языка в МГЭИ традиционно применяется подход «мягкого» предметно-языкового интегрированного обучения: язык изучается через содержание других учебных дисциплин. CLIL представляет собой двунаправленный образовательный подход, при котором язык используется для изучения и преподавания как языка, так и предмета одновременно. В отличие от традиционного обучения иностранному языку или преподавания профессиональных дисциплин на иностранном языке, CLIL предполагает равную значимость предметного и языкового компонентов, что позволяет интенсифицировать профессиональную подготовку без выделения дополнительных часов. В структуре CLIL выделяют четыре ключевых компонента, известных как модель «4С»: Content (содержание), Communication (коммуникация), Cognition (мышление) и Culture (культура). Компонент «Content» означает, что занятие имеет предметное содержание (с чем интегрируется урок иностранного языка). «Communication» отвечает за коммуникацию обучающихся на уроке, то есть обсуждение темы с использованием изучаемого языка. «Cognition» представляет мыслительную деятельность – на интегрированном уроке обучающиеся не получают готовую информацию, а приходят к ней путем мыслительных действий, используя схемы, диаграммы и иллюстрации. «Culture» понимается как культура общения, в которой обучающиеся во время работы приходят к общему мнению, что особенно важно в поликультурных учебных группах.

Программа обучения как русскому, так и английскому языку делится на два модуля. Первый год – это социокультурный модуль, второй – профессиональный. Такой подход находит свое обоснование в теории Джима Камминса о двух типах языковых навыков: BICS (Basic Interpersonal Communicative Skills) и CALP (Cognitive Academic Language Proficiency). Данная теория, впервые предложенная в 1979 году, стала фундаментальной для понимания развития языковой компетенции у студентов-инофонов.

BICS, или базовые межличностные коммуникативные навыки, – это «повседневный» язык, необходимый для общения со сверстниками в социальных ситуациях. Такое общение обычно встроено в конкретный контекст, что придает языку дополнительный уровень смысла и облегчает понимание. Этот язык не представляет когнитивной сложности для освоения, и студенты обычно овладевают им достаточно быстро – в течение года. Проблемы возникают, когда преподаватели ошибочно полагают, что на основе этих базовых навыков у студентов уже сформировалось высокое владение языком.

CALP, или когнитивная академическая языковая компетенция, представляет собой формальный язык, необходимый в процессе обучения для понимания академических дисциплин. Этот язык тесно связан с содержанием учебных дисциплин и часто не встроен в конкретный, наглядный контекст, что делает его освоение значительно более сложным с когнитивной точки зрения. Для полноценного овладения CALP студентам требуется 5-7 лет. Описывая взаимоотношения BICS/CALP, можно использовать метафору айсберга, где BICS – это видимая надводная часть, а CALP – гораздо более массивная подводная часть.

Обучение на первом курсе в разрабатываемой модели ставит своей целью формирование BICS на обоих языках – тех навыков повседневного общения, которые необходимы для социализации и выживания в новой языковой среде. Второй курс ориентирован на развитие CALP – академической компетенции, позволяющей оперировать сложными абстрактными понятиями в профессиональном контексте.

Особого внимания заслуживает вопрос о влиянии билингвизма на развитие когнитивных способностей обучающихся. Современные исследования подтверждают, что владение двумя и более языками оказывает значительное влияние на когнитивные процессы. Как отмечается в научной литературе, билингвы часто обладают лучшими навыками переключения между задачами и более высокой способностью к решению проблем по сравнению с монолингвами. Это объясняется тем, что их мозг постоянно работает над обработкой двух языков, что способствует улучшению когнитивных функций, включая память, внимание и способность к многозадачности.

Международная команда исследователей [1] выявила, что знание иностранного языка позволяет улучшить работу памяти и повысить автоматизм при решении сложных задач. В ходе эксперимента с использованием задачи n-back (серия заданий на отслеживание последовательности стимулов) было установлено, что участники с более высоким уровнем владения вторым языком демонстрировали меньший спад в точности и скорости при выполнении заданий высокой сложности. При этом при решении более простых задач значимых различий не наблюдалось. Ученые подчеркивают, что положительный эффект билингвизма возрастал именно при повышении когнитивной нагрузки.

Важно отметить, что, согласно данным исследований, возраст начала изучения языка и частота его использования не являются определяющими факторами – значимым оказывается именно уровень владения вторым языком. Это означает, что положительные когнитивные эффекты могут возникать и при изучении иностранных языков в более зрелом возрасте, что делает билингвизм потенциально важным инструментом когнитивной тренировки на протяжении всей жизни.

Разрабатываемая преподавателями кафедры ЛДиМК модель, при которой темы занятий по русскому и английскому языкам совпадают на первом курсе, а на втором ещё и синхронизируются с содержанием профильных лекций, обладает рядом неоспоримых преимуществ, которые целесообразно рассмотреть в их взаимосвязи.

Прежде всего, следует отметить интенсификацию обучения и достижение синергетического эффекта. Когда студент на занятии по русскому языку разбирает тему «Базы данных», а на занятии по английскому – ту же тему, формируется единое понятийное поле. Профессиональная лексика перестает быть набором абстрактных терминов, существующих изолированно в каждом из языков. Она усваивается быстрее и прочнее, так как получает контекстное подкрепление одновременно на двух языках. Это устраняет дублирование усилий и создает синергию в обучении, когда совокупный результат превышает простую сумму результатов изучения каждого языка по отдельности. Как показывает практика реализации интегрированных курсов, студенты отмечают лучшее запоминание слов и повышение мотивации именно благодаря взаимосвязанному представлению материала.

Важным преимуществом модели является обеспечение плавного перехода от социального общения к профессиональному. Благодаря двухуровневой структуре (социокультурный мо-

дуль на первом курсе и профессиональный на втором) студенты проходят естественный путь «от выживания в стране к профессии». На первом курсе они овладевают лексикой, необходимой для повседневной жизни и учебы («Моя семья», «В магазине», «Спорт»). Это снижает тревожность и помогает адаптироваться в новой социокультурной среде, формируя ту самую базу BICS, которая служит фундаментом для дальнейшего академического и профессионального развития. На втором курсе, когда базовый язык уже освоен, происходит плавный переход к языку профессии. В этот период особенно важно, что профессиональная лексика вводится не изолированно, а в контексте тех дисциплин, которые студенты изучают параллельно на выпускающих кафедрах. Это делает погружение в специальность на неродном языке менее стрессовым и более эффективным.

Не менее значимым представляется формирование целостной билингвальной профессиональной личности. Регулярная работа с профессиональными понятиями на двух языках учит студента мыслить в рамках своей будущей специальности более гибко и объемно. Исследователи отмечают, что билингвальное обучение расширяет «границы мышления», учит анализировать и не бояться языкового барьера.

Существенным фактором успешности модели выступает рост мотивации студентов. Данные апробации интегрированных курсов подтверждают, что студенты, особенно на втором курсе, видят непосредственную практическую пользу от языковых занятий. Язык перестает быть абстрактной изучаемой дисциплиной и становится реальным инструментом для получения профессиональных знаний. Студенты, обучающиеся по методике CLIL, отмечают, что подобное изучение языка помогает лучше понимать профильные предметы, а профессиональная терминология становится доступнее и понятнее именно благодаря параллельному изучению на языковых занятиях и лекциях по специальности. Такая прагматическая направленность обучения значительно повышает внутреннюю мотивацию студентов и их вовлеченность в учебный процесс.

Успех реализации данной модели напрямую зависит от организации тесного межкафедрального взаимодействия. Обычно требуется создание рабочих групп из преподавателей русского языка, английского языка и профильных (выпускающих) кафедр для координации учебных планов и программ. Поскольку взаимодействие между преподавателями английского языка и преподавателями профильных предметов уже налажена, необходима только разработка синхронизированных учебно-методических комплексов с участием преподавателей РКИ, включающих двуязычные глоссарии, подборку аутентичных текстов и заданий, коррелирующих с содержанием лекций по специальности.

Практические примеры реализации CLIL-подхода в МГЭИ демонстрируют его эффективность в самых разных образовательных контекстах. Так, студенты факультета МОС специальности природоохранная деятельность отметили, что занятия по английскому языку по учебному пособию «Basic Ecology» значительно способствовали их успешной сдаче экзамена по экологии. Тематически содержание этого пособия при написании было согласовано с преподавателями выпускающей кафедры.

Аналогичный положительный опыт был получен при изучении темы «Строение ядерного реактора» со студентами того же факультета (МОС). Разработанный цикл занятий с применением CLIL-методологии позволил студентам не только освоить англоязычную терминологию, описывающую конструкцию и принципы работы реактора, но и значительно углубить понимание физических процессов, лежащих в основе ядерной энергетики. Интеграция языка и специальности способствовала формированию целостной картины: студенты научились объяснять на иностранном языке инженерные особенности различных типов реакторов, что подтверждает высокую эффективность CLIL для профессионального становления будущих экологов и энергетиков.

Для студентов факультета ЭМ по специальности медико-биологическое дело параллельное изучение тем эндокринология, онкология, иммунология, цитология по пособию «Basic

medical education» дало не только понятийную базу на английском языке, но и расширило знания в данных темах и позволило сравнить опыт нашей страны с опытом зарубежных стран.

Данные примеры показывают, как творческий подход к реализации CLIL позволяет сделать профессионально-ориентированное языковое обучение не только эффективным, но и увлекательным для студентов.

Для первого курса в рамках социокультурного модуля можно рекомендовать проведение бинарных уроков, где одни и те же темы (например, «Система образования в стране изучаемого языка») рассматриваются одновременно на русском и английском языках с выходом на сравнение с образовательными системами родных стран студентов. Это не только развивает языковые навыки, но и способствует межкультурной коммуникации внутри учебной группы.

Для второго курса эффективными могут стать проектные работы, требующие от студентов исследования профессиональной темы с использованием источников на обоих языках. Например, студенты IT-специальностей могут готовить проекты по сравнительному анализу русскоязычной и англоязычной документации по базам данных, представляя результаты на обоих языках. Такой подход не только закрепляет профессиональную лексику, но и готовит студентов к реальным профессиональным ситуациям, где требуется работа с информацией на разных языках.

В рамках одного занятия студенты МБД могут освоить сложные научные концепции (например, механизм апоптоза или функции инсулина) и одновременно овладеть необходимыми языковыми средствами (профессиональная лексика, грамматические конструкции вроде условных предложений) для их вербализации. Практика показывает, что студенты-биологи проявляют гораздо более высокую мотивацию при работе с материалами высокого научного уровня (статьи из Nature Science, графики онкологических исследований). Выполнение заданий, приближенных к реальной научной деятельности (анализ данных, описание экспериментов, подготовка докладов), как подтверждает опыт преподавания, существенно усиливает познавательный интерес.

Представленная модель организации языковой подготовки в вузе, где русский язык не является для студентов родным, представляет собой не просто методическое новшество, а необходимый инструмент для достижения главной цели современного образования – подготовки конкурентоспособного, мобильного и компетентного специалиста. Опираясь на теорию BICS/CALP и методологию CLIL, данная модель обеспечивает научно обоснованный подход к поэтапному формированию языковой компетенции – от базовых навыков социального общения к сложной академической и профессиональной языковой компетенции. Синхронизация содержания курсов русского и английского языков между собой и с профильными дисциплинами позволяет сформировать у выпускников целостную профессиональную картину мира на двух языках, обеспечивая им успешную интеграцию как в академическую среду, так и в будущую профессиональную деятельность. Учитывая доказанное положительное влияние билингвизма на когнитивное развитие, такой подход способствует не только языковому и профессиональному, но и общему интеллектуальному развитию студентов.

Библиографические ссылки

1. Cognitive efficiency and expertise-dependent automaticity in the working memory performance of bilinguals / Gallo Federico [et al.] // Brain and Cognition. Volume 187, 2025.106308, ISSN 0278-2626.

2. Coyle D., Hood P., Marsh D. CLIL: Content and Language Integrated Learning // Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 259 p.

3. Зарипова Р. Р. О результатах апробации модели интегрированного предметно-языкового обучения средствами русского и английского языков в высшей школе. Научное обозрение. Педагогические науки, 2015. № 1. С. 193–194

4. Урунова Ф. Х., Нематова З. А. Влияние билингвизма на развитие языковых способностей. Современное образование и развитие, 2025. Т. 26, № 1. С. 54–60.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ К ПОСТУПЛЕНИЮ НА СПЕЦИАЛЬНОСТИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

М. М. Бондаренко¹⁾, Л. В. Викторко¹⁾, М. О. Филиппович¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kdo@iseu.by

Статья посвящена проблеме развития экологического сознания у иностранных слушателей подготовительного отделения. Авторы демонстрируют на примерах преподавания различных дисциплин возможность инкорпорирования в учебный процесс изучения проблем влияния состояния окружающей среды на здоровье людей, связывая содержание курса с реальной жизнью в целях мотивации активного участия в анализе и рассмотрении возможных вариантов решения актуальных экологических проблем. Рассматриваются некоторые приемы обучения, базирующиеся на принципах целостного восприятия окружающей действительности.

Ключевые слова: экологическое сознание; экологическое образование; смешанное обучение; творческий проект; инфографика.

FEATURES OF DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL CONSCIOUSNESS IN STUDENTS OF MEDICINE AND BIOLOGY AS PART OF A PREPARATORY DEPARTMENT EDUCATIONAL PROGRAMME

M. Bandarenka¹⁾, L. Victorka¹⁾, M. Filipovich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kdo@iseu.by

The article is devoted to the problem of development of ecological consciousness in preparatory department international students. The authors share their experience on incorporating into the educational process the study of problems of environmental impact on human health, linking the course content to real life in order to motivate active participation in analysis and consideration of possible solutions to burning environmental issues. Some teaching techniques based on the principle of holistic perception of surrounding reality are considered.

Keywords: ecological consciousness; environmental education; blended learning; creative project; mind mapping.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-307-312>

Утрата биоразнообразия, загрязнение земли и воздуха не только наносят ущерб окружающей нас природе, но и угрожают нашему здоровью. Единственный способ для человека сохранить собственное благополучие и здоровье – научиться жить в гармонии с окружающим миром и заботиться о нем. В этой связи экологическое образование должно быть неотъемлемой частью общего образования на всех этапах его реализации и включать в себя повышение уровня информированности учащихся о проблемах охраны окружающей среды, с одной стороны, и их собственного здоровья с другой.

Экологическое сознание и забота о своем здоровье являются показателями нравственной зрелости человека. Наша практика взаимодействия со слушателями убеждает нас в том, что эта важная составляющая зрелости человека еще не полностью у них сформирована. Работа с представителями разных национальностей и культур помогает заметить, что эта проблема

носит глобальный характер. В связи с этим, развитие экологического мировоззрения слушателей является основной задачей в рамках экологического образования и воспитания.

Стремительное развитие промышленности и технологий привело к ухудшению химического состава биосферы, что непосредственно сказывается на здоровье людей, ведет к росту хронических, онкологических, аутоиммунных заболеваний и появлению аллергических реакций, и дальнейшее развитие человечества без учета этих факторов невозможно.

Исследователи подчеркивают важность экологического образования для будущих врачей. Авторы статьи «Add Ecology to the Pre-Medical Curriculum» («Добавьте экологию в программу образования будущих врачей») доказывают, что компетентностные требования и программа экзаменов для поступления в медицинский колледж должны включать вопросы биоразнообразия и экологического взаимодействия, которые могут влиять на здоровье человека. В статье утверждается, что понимание роли взаимодействия видов друг с другом и с абиотической средой имеет решающее значение для будущих врачей, поскольку им предстоит диагностировать болезни и назначать лекарства. Разнообразие видов с одной стороны является причиной возникновения заболеваний, а с другой стороны средством их лечения. Многие заболевания вызываются или усугубляются экологическими факторами, включая климат и загрязнение окружающей среды [3, с. 1302].

В обзорной статье «Ecological analysis in general medicine» («Экологический анализ в общей медицине») Хосе Луис Турабиан предлагает рассматривать некоторые симптомы заболеваний как попытки организма адаптироваться к новой среде или ситуации. Подавление симптомов может привести к ситуации дисбаланса в организме на более глубоком уровне. Автор предлагает ввести экологический анализ в программу обучения общей медицине, что приведет к всестороннему пониманию пациентов врачами и, следовательно, целостному восприятию заболевания [4, с. 78].

Иностранные слушатели, готовящиеся к поступлению на специальности медико-биологического профиля, изучают русский язык как иностранный, а также химию, биологию и физику на русском языке. Развитие экологического сознания слушателей требует от преподавателей серьезной подготовки, связанной с подбором материалов и соответствующих форм работы, чтобы обсуждение влияния состояния окружающей среды на здоровье людей стало постоянным компонентом занятий. Для того чтобы мотивировать слушателей к обсуждению данных тем, необходимо использовать жизненный опыт слушателей, затрагивая проблемы, насущные для стран, из которых они приехали.

Рассмотрим на примере изучения некоторых тем курсов «Химия» и «Русский язык как иностранный» приемы обучения, базирующиеся на принципах целостного восприятия окружающей действительности, основанного на понимании влияния экологии на жизнь и здоровья человека.

На занятиях по химии важно делать акцент не только на физико-химических свойствах веществ и соединений, способах их получения и применения, а также и на их влиянии на окружающую среду и здоровье человека, формировать представления о круговороте веществ в природе, и влиянии антропогенных факторов на возникновение экологически неблагоприятных территорий. Необходимо мотивировать слушателей раскрывать взаимосвязь между биохимическими и физиологическими процессами в организме человека, и концентрацией химических элементов, и их соединений в почве, воде, воздухе, продуктах питания.

Организм человека – сложноустроенная саморегулирующаяся открытая система, для нормальной жизнедеятельности которой необходимо поступление разнообразных микроэлементов. Например, йод участвует в функционировании щитовидной железы, обеспечивая формирование тироксина и трийодтиронина, которые, в свою очередь, участвуют в регулировании процессов образования энергии в организме, также необходим для роста и дифференциации клеток тканей в организме, регуляции трансмембранного транспорта. Поступает данный микроэлемент в организм человека исключительно с пищей и население, проживающее вблизи соленых водоемов менее подвержены развитию йододефицитных состояний. Однако существует достаточное количество территорий с низкой концентрацией йода в воде и почве, ко-

торая вызывают дефицит йода у растений и животных, а соответственно и у человека. По данным, опубликованным Европейским региональным бюро ВОЗ и Глобальной сетью по йоду (ГСЙ) в 2024 г. в докладе «Профилактика и контроль дефицита йода в Европейском регионе ВОЗ: адаптация к изменениям в питании и образе жизни», дефицит йода, особенно его легкая недостаточность, по-прежнему является широко распространенной проблемой в Европейском регионе [2]. В процессе обсуждения данной темы слушатели из Туркменистана подчеркивают важность проблемы для их региона. Поскольку, несмотря на проводимую с 1996 г. в их стране программу всеобщего йодирования соли, йодный дефицит и высокий уровень заболеваемости патологиями щитовидной железы, связанными с дефицитом йода, пока еще сохраняются.

К сожалению, эффективность данных мероприятий различна на разных территориях. Широкое неконтролируемое использование йодированной соли и продуктов, обогащенных йодом, распространение биологических добавок к пище и т.д. в некоторых регионах уже приводит к негативным последствиям. Одним из последствий йодной профилактики стало увеличение уровня аутоиммунных заболеваний щитовидной железы. В последние годы установлено, что одним из экологических факторов риска возникновения аутоиммунной тиреопатии является избыток йода [1, с. 9]. Таким образом, при составлении заданий по данной тематике для будущих студентов медико-биологического профиля важно создать условия для понимания слушателями необходимости рационального подхода в решении каждой проблемы, связанной со здоровьем людей.

Разбирая проблемы влияния экологии на жизнь и здоровья человека, слушатели разрабатывают творческие проекты, проводят тематические исследования, участвуют в круглых столах, дискуссиях, мозговых штурмах. Для оптимизации учебного процесса целесообразно использовать смешанное обучение, соединяющие в себе традиционную форму аудиторных занятий и использование современных онлайн-ресурсов.

Сегодня у каждого слушателя имеется устройство с доступом в сеть Интернет, что позволяет сделать процесс обучения достаточно мобильным. Использование облачных технологий предоставляет возможность не только рассылать обучающие материалы для самостоятельного изучения перед обсуждением на аудиторных занятиях, но и составлять интерактивные задания для первичного, вторичного и итогового контроля знаний, которые слушатели могут выполнять в своем темпе, автоматически получая результаты после проверки.

Интерактивные тестовые задания и обучающие материалы возможно размещать и создавать на образовательной платформе Moodle, которая помимо автоматической проверки и возможности корректировки результатов, демонстрирует прогресс слушателя за весь период обучающего курса. Таким образом, мы считаем целесообразным использовать возможности двух ресурсов параллельно для лучшего усвоения знаний.

Для выполнения творческих заданий, связанных с подготовкой проектов, посвященных проблеме влияния окружающей среды, а именно химических соединений на здоровье и жизнедеятельность человека, слушателям предлагается самостоятельно ознакомиться с подборкой теоретического материала, расположенного либо на Google-диске или на платформе Moodle. Далее им необходимо выбрать один из химических факторов влияния на здоровье человека и, используя все доступные онлайн-ресурсы, подготовиться к защите своего проекта. Для иллюстрации слушатели могут использовать такие сервисы как: Mindmaster, Canva, интерактивные диаграммы, схемы и таблицы, созданные в этих ресурсах. При этом не обязательно сохранять проекты на физическом носителе, достаточно создать активную ссылку, которая будет открываться на всех устройствах.

С помощью Google-форм можно также создать онлайн-викторины по темам проектов, выполняющие функции закрепления полученных знаний и рефлексии. При помощи онлайн-форм, которые автоматически предоставят результат знаний, усвоенных всеми слушателями после знакомства с различными проектами, подготовленными их товарищами, для подведения итогов занятия может быть организовано анкетирование.

В соответствии с принципом междисциплинарных связей, учебная программа по образовательной дисциплине «Русский язык как иностранный» (далее – РКИ) включает следующие темы, связанные с охраной окружающей среды и здоровым образом жизни: «Человек и природа», «Глобальные проблемы современности. Нас слишком много на планете?», «Новые подходы в экологии». Эти темы выбраны не только для изучения лексики, но и для повышения осведомленности слушателей о здоровье, экологии и окружающей среде в целом. Предложенные для обсуждения темы затрагивают актуальные социально-экологические и околomedические вопросы.

Следует отметить, что дискуссионные темы и творческие занятия повышают мотивацию слушателей к обучению, развитию экологического сознания и экологической культуры. Для создания творческого учебного опыта через эмоции на занятиях мы используем различные методы, такие как монологическое высказывание по теме, проблемные диалоги и полилоги, эвристические беседы, мозговой штурм. Чем больше учащиеся вовлечены в процесс, тем дольше они сохраняют знания и глубже вникают в проблему, приобретая желание быть экологически ответственными не только за свое здоровье, но и за сохранение окружающей среды для будущих поколений. Развитие экологического сознания слушателей посредством творческих заданий на занятиях по РКИ идут в тандеме с совершенствованием коммуникативных навыков. Ниже мы предлагаем примеры вопросов для мозгового штурма и дискуссии за круглым столом:

– Знаете ли вы, какие болезни до сих пор неизлечимы? Сегодня, благодаря научным достижениям, созданы вакцины, эффективные лекарства и апробированы методы лечения различных ранее неизлечимых заболеваний. Может ли мир без болезней стать реальностью? Если да, то как скоро?

– Что могут сделать крупные города для улучшения качества воздуха? Считаете ли вы, что автомобили нужно запретить в центрах городов? Каковы, по вашему мнению, будут последствия такого запрета? Должен ли бензин для автомобилистов стоить дороже? Какие преимущества и недостатки такого подорожания? Насколько больше вы сами готовы заплатить за экологически чистый автомобиль? Хотели бы вы пользоваться гибридным или электромобилем? Почему?

– Считаете ли вы, что глобальное потепление реально? Что такое глобальное потепление? Как вы думаете, это следствие деятельности человека? Что происходит с лесами в современном мире? Какие последствия вырубки лесов вы можете назвать? Что мы можем сделать для защиты лесов?

– Беспokoит ли вас состояние окружающей среды? Что, по-вашему, является самой большой экологической проблемой на современном этапе? Какие мелочи, по вашему мнению, вы могли бы сделать, чтобы помочь защитить окружающую среду? Работая в группе, разделите предложенные варианты на 3 подгруппы: 1 – очень важные и просто необходимые, 2 – хорошие актуальные идеи, 3 – неактуальные действия. Расскажите, что вы сами делаете, а что нет, и объясните почему. – Выключаете воду, когда чистите зубы? – Выключаете компьютер, когда не используете его? – Ограничиваете бутилированную воду? – По возможности, пользуетесь общественным транспортом? – Сортируете мусор? – Пользуетесь многоразовой упаковкой? (пакеты, стаканы и прочая посуда). – Выключаете свет, когда выходите из комнаты? и т. п.

Задания подобного типа показывают явную заинтересованность среди иностранных слушателей, однако гораздо эффективнее работают творческие и научные проекты, затрагивающие экологические проблемы родного учащимся региона. Так, например, в туркменской аудитории, слушатели всегда охотнее обсуждают климат, природу и окружающую среду Средней Азии: последствия высыхания Аральского моря, дефицит водных ресурсов и опустынивание пахотных земель, загрязнение Каспийского моря, йододефицит и сопутствующие ему болезни среди населения, проблемы с переработкой отходов и прочее. В помощь слушателям при обсуждении данных тем целесообразно использовать визуализацию в виде инфографики (Рисунок). Она помогает быстро, понятно и структурировано донести большой объем информации, превращая скучные данные в наглядный рассказ, облегчает восприятие информации

и выделение главного. Совместно со слушателями следует выделить основные блоки, которые необходимо наполнить соответствующим содержанием, повторить ключевые грамматические конструкции.



Макет-шаблон инфографики по теме «Проблема йододефицита в Туркменистане»

Использование вышеописанных приемов и технологий обучения хорошо зарекомендовало себя в процессе преподавания дисциплин подготовительного цикла с целью вовлечения слушателей в проблемы экологии. Использование онлайн-ресурсов позволяет создавать интерактивные задания, опросы и т.д., тем самым усовершенствует классическую модель передачи знаний учитель – ученик. Благодаря онлайн-платформам информация становится доступной, позволяет ему учиться самостоятельно в свободное время, процесс обучения адаптируется к уровню знаний и умений слушателя. С помощью иллюстративных ресурсов появились широкие возможности визуализации данных и статистики, что помогает лучше осознать масштаб экологических проблем и мотивирует к действию. Совместные проекты, дискуссии и обмен мнениями между слушателями, способствует формированию сообщества заинтересованных в экологии людей и стимулирует коллективные усилия по решению проблем.

Библиографические ссылки

1. Андриюков, Б. Г., Гвозденко, Т. А., Демьяненко, Н. Б. Избыток йода в организме – экологический фактор риска развития аутоиммунных заболеваний щитовидной железы? // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015. № 2. С. 6–16.
2. Герасимов, С. А. Йодный статус населения в странах Европейского региона ВОЗ (сокращенный перевод отдельных разделов доклада Европейского бюро ВОЗ) // Проблемы эндокринологии. Том 71. 2025. № 4. URL: <https://www.probl-endojournals.ru/jour/article/view/13611>. (дата обращения: 16.02.2026).
3. Beck, Ch. W. Add Ecology to the Pre-Medical Curriculum [Electronic resource] / Ch. W. Beck [et al.]. // Science. 2012. № 3. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.335.6074.1301-a>. (date of access: 15.02.2024).
4. Turabian, J. L. Ecological analysis in general medicine // Open Access Text. – URL: <https://www.oatext.com/ecological-analysis-in-general-medicine.php>. (date of access: 15.02.2024).

ВЫКАРЫСТАННЕ НЕАГРАФІЧНЫХ ВЫДААННЯЎ Ў ПАРАЎНАЛЬНЫМ АНАЛІЗЕ МОЎНЫХ ПРАЦЭСАЎ БЕЛАРУСКАЙ МОВЫ ПЭЎНЫХ ПЕРЫЯДАЎ ЧАСУ

Н. М. Даўгулевіч¹⁾

¹⁾ Установа адукацыі «Міжнародны дзяржаўны экалагічны інстытут імя А. Д. Сахарова»
Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта, вул. Даўгабродская, 23/1,
220070, г. Мінск, Беларусь, kfl@iseu.by

Даклад прысвечаны параўнальнаму аналізу лексічных працэсаў ў сучаснай беларускай мове на аснове неаграфічных выданняў аўтара розных гадоў. Выкарыстаны матэрыял пацвярджае ўплыў экстралінгвістычных фактараў на дынамічнае развіццё сучаснай беларускай мовы.

Ключавыя словы: запазычванне; неалогія; неаграфія; адаптацыя; экстралінгвістычны фактар.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕОГРАФИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ В СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ЯЗЫКОВЫХ ПРОЦЕССОВ БОЛОРУССКОГО ЯЗЫКА ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПЕРИОДОВ ВРЕМЕНИ

Н. Н. Довгулевич¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1,
220070, г. Минск, Беларусь, kfl@iseu.by

Доклад посвящен сравнительному анализу лексических процессов в современном белорусском языке на основе неографических изданий автора разных лет. Использованный материал подтверждает влияние экстралингвистических факторов на динамическое развитие современного белорусского языка.

Ключавыя словы: заимствование; неология; неаграфия; адаптация; экстралингвистический фактор.

USE OF NEOGRAPHIC PUBLICATIONS IN THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE LINGUISTIC PROCESSES OF THE BELARUSIAN LANGUAGE IN CERTAIN PERIODS OF TIME

N. Dovgulevich¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1,
220070, Minsk, Belarus, kfl@iseu.by

The report is devoted to a comparative description of lexical processes in the modern Belarusian language based on the materials of the author neographic publications of different years. The presented lexical material confirms the influence of extralinguistic factors on the dynamic development of the modern Belarusian language.

Keywords: borrowing; neology; neography; adaptation; extralinguistic factor.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-313-316>

Любая мова – складаная і дынамічная сістэма, якая хутка рэагуе на змены ў розных сферах грамадскага жыцця. У першую чаргу гэта выяўляецца на лексічным і словаўтваральным узроўні (запазычванне, вяртанне слоў з пасіўнага складу, актыўнае словаўтварэнне ад новых лексем на базе ўласных словаўтваральных сродкаў і інш.).

Беларуская мова, нягледзячы на тое, што ў нашым грамадстве ёй даводзіцца функцыянаваць ва ўмовах канкурэнцыі з рускай мовай, не перастае развівацца [1]. Моўным працэсам неабходна даваць ацэнку з навуковага пункта погляду, паколькі знешнія фактары, якія ўплываюць на іх развіццё пацвярджаюць думку: якое жыццё, такая і мова гэтага жыцця [2].

Актыўныя змены ў лексічным складзе беларускай мовы, зафіксаваныя ў неаграфічных выданнях, несумненна, пацвярджаюць гэты факт [3–5].

У сувязі з вышэйсказаным уяўляе сабой навуковы інтарэс параўнаць зафіксаваную ў неаграфічных выданнях, створаных у перыяд канца XX – пачатку XXI стагоддзя і ў пачатку 20-х гадоў XXI стагоддзя, лексіку.

Параўнальны аналіз моўных працэсаў адзначаных перыядаў абавязваецца на неаграфічныя выданні аўтараў артыкула [3–5] і іх навуковыя распрацоўкі [6–8].

Нягледзячы на тое, што пры складанні падобнага тыпу слоўнікаў заўсёды прысутнічае пэўная ступень суб'ектыўнасці (цяжка або немагчыма, напрыклад, вызначыць дакладны час з'яўлення слова або ступень яго распаўсюджанасці ў пэўных сляях грамадства), іх стваральнікі ўлічвалі тры асноўныя фактары:

- 1) храналагічны (час з'яўлення слова);
- 2) функцыянальны (распаўсюджанасць у маўленні ў пэўны перыяд часу, абзначэнне новага ці актуальнага паняцця, прадмета, з'явы);
- 3) лексікаграфічны (незафіксаванасць слова ў папярэдніх слоўніках) [9].

У першую чаргу, калі вызначаць агульную адметнасць лексічных працэсаў, якія актыўна пачалі развівацца ў канцы XX – пачатку XXI стагоддзя і працягвалі сваё развіццё ў 20-я гады XXI стагоддзя, гэта безумоўна, запазычванне.

Запазычванне – гэта натуральны працэс у гісторыі кожнай мовы, які адлюстроўвае культурныя, эканамічныя, палітычныя сувязі народаў. Выгаднае геапалітычнае становішча краіны спрыяе пашырэнню міжмоўных кантактаў і выклікае папаўненне лексічнай сістэмы беларускай мовы словамі з англійскай, французскай, нямецкай і іншых моў. Асноўная частка новых іншамоўных лексем мае англа-амерыканскае паходжанне, што характэрна ў наш час не толькі для беларускай, але і для многіх іншых еўрапейскіх моў.

Прыярытэт той ці іншай мовы сярод крыніц запазычвання звычайна вызначаюць сацыяльна-эканамічныя і палітычныя абставіны. У канцы XX – пачатку XXI ст. англійская мова стала мовай глабальнай камунікацыі. Міжнародны статус англійскай мовы забяспечваецца дасягненнямі ў сферы інфармацыйных тэхналогій. Яшчэ адной умовай для пранікнення англіцызмаў і амерыканізмаў у лексічную сістэму беларускай мовы з'явілася і змена статусу англійскай мовы ў грамадстве. Сёння яе веданне – неабходная ўмова для паспяховай камунікацыі з іншым светам. Таму колькасная прадстаўленасць запазычанняў з англійскай мовы і яе амерыканскага варыянта пераважае ў параўнанні з запазычаннямі з іншых моў.

У выказваннях вучоных і дзеячаў культуры розных краін па пытанні папаўнення лексічнага складу нацыянальных моў англа-амерыканізмамі няма адзінства. Адны даследчыкі разглядаюць гэтыя запазычванні як “інфекцыю” [10], іншыя сцвярджаюць, што “мова – самаачышчальная сістэма” [11], здольная рэгуляваць празмернае запазычванне.

У выпадку з беларускай мовай, мяркуем, гэта станоўчы фактар, які адлюстроўвае ўключэнне грамадства ў сусветны цывілізацыйны працэс і пацвярджае тым самым вітальнасць беларускай мовы.

Англіцызмы і амерыканізмы служаць для абзначэння новых прадметаў і з'яў у розных сферах жыцця беларускага грамадства: палітыкі (*брыфінг, істэблішмент, імпічмент, саміт, спікер, экзітпол*), эканомікі і фінансаў (*аўтсорсінг, дэмпінг, кансалтынг, мерчандайзінг, ф'ючарс*), сферы інфармацыйных тэхналогій (*антывірус, браўзер, інтэрфейс, плагін, спам*), быту (*барбер-шоп, блотар, каршэрынг, фудкорт*), культуры і шоу-бізнесу (*бук-арт, глэм-рок, грандж*), спорту (*бейсджампінг, дайвінг, дартс, рафтынг, сёрфінг*) і інш.

Аднак і запазычанні з іншых моў таксама прадстаўлены ў розных тэматычных групах, пры гэтым іх разнастайнасць дазваляе акрэсліць, чым зацікаўлена грамадства ў пэўны перыяд часу, напрыклад:

Італьянская мова – у першую чаргу, бытавая сфера (пераважаюць найменні ежы і напіткаў): *капучына, равіёлі, лазанья, піца, эспрэса* і інш.; культура: *біенале, графіці, пасціш* і інш.

Французская мова – у першую чаргу, індустрыя моды і сфера прыгажосці: *буцік, візаж, гамаж, дэфіле, куцюр’е, прэт-а-партэ* і інш.

Японская мова – у першую чаргу, найменні спартыўнай сферы, якія адносяцца да адзінаборстваў: *дан, сэнсэй, сумо, татамі* і інш.; культура: *анімэ, ікебана, манга, эмодзі* і інш., бытавая сфера (ежа і напіткі): *васабі, сакэ, сушы, тофу* і інш.

Кітайская і карэйская мовы – найменні спартыўнай сферы, у першую чаргу, баявыя мастацтвы: *кун-фу, тэквандо, ушу*.

і інш.

Такая тэндэнцыя захоўваецца і сёння: адзначаныя тэматычныя групы працягваюць сваё пашырэнне, у тым ліку за кошт запазычвання з іншых моў, напрыклад найменні ежы і напіткаў: *берлінер* – нямецкая, *бурыта* – іспанская, *хачапуры* – грузінская, *фалафель, хумус* – арабская і інш.

І разам з тым, з’яўляюцца новыя тэматычныя групы, якія ў папярэдні перыяд не фіксаваліся. Напрыклад, у апошні час у беларускую мову прыйшлі неалагізмы, якія апісваюць псіхалагічны ціск над асобай: *аб’юз, булінг, босінг, мобінг, тролінг*.

Таксама трэба адзначыць, што ў параўнанні з папярэднім часам, сённяшні перыяд можна ахарактарызаваць як перыяд больш інтэнсіўнай англаізацыі беларускай мовы.

Па-першае, з’явіліся новыя дублеты: *анбоксінг – распакоўка, гайд – інструкцыя, лайфхак – парада, лакдаўн – каранцін, мейк-ап – макіяж, паці – вечарынка, пруф – пацвярджэнне, рэлакейт – перасяленне (перамяшчэнне), спойлер – падказка, трэнд – тэндэнцыя, хендмейд – рукадзельны* і г. д.

Іх распаўсюджанне можна растлумачыць дзвюма прычынамі:

1) новыя словы, у тым ліку жарганізмы, як паказчык адметнасці пэўнай сацыяльнай або прафесійнай групы (моладзь, ІТ-сфера, сфера абслугоўвання асабліва вылучаюцца): *крафт, трэвел-блогер, фэшин-стыліст, фітнэс-блогер, фэйс-фітнэс, кэш, лайк, меседж, флекс*.

2) тэндэнцыя да эканоміі моўных сродкаў і адначасовая дэталізацыя лексічнага значэння: *бас-тур – аўтобусны тур, івент-агенства – агенства на арганізацыі святаў, стрытфуд – вулічная ежа, кэшбэк – вяртанне грашовых сродкаў, стрым – прамая трасняцыя, фактчэкінг – пацвярджэнне фактаў, дог-фрэндлі – прязны да сабак, фуд-коўч – спецыяліст па харчаванні, геймдызайнер – спецыяліст, які распрацоўвае камп’ютарныя гульні*.

Па-другое, адбываецца хуткая адаптацыя новых запазычанняў на ўсіх узроўнях мовы. Новая лексема актыўна ўтварае словаўтваральныя рады, што паказвае ўключэнне новых прадметаў, з’яў і паняццяў у жыццё грамадства: *майнінг – майнер, майнінг-ферма, фейк – фейкавы, фейкіць, фрыланс – фрылансер, фрылансерства, фрылансіць*.

Таксама ў сучасны перыяд фіксуюцца выпадкі, калі ў кароткі прамежак часу неалагізмы фарміруюць новую тэматычную групу: *рэгі-бар, рэста-бар, спортбар, шотбар, сэндвіч-бар*.

Сёння словы некаторых тэматычных груп, у прыватнасці ежы і напіткаў, будоўлі хутка страчваюць рысы экзатычнасці і ўваходзяць у актыўны лексічны склад беларускай мовы: *гаспача, кальцоне, сашымі, хінкалі, латэ; глэмпінг, патыё, шале*.

Сучаснае хуткае жыццё і прагрэс грамадства аказваюць уплыў і на дынамізм лексічнай сістэмы беларускай мовы. Напрыклад, з боку развіцця мовы такія словы, як *дыскета, пэйджар, відэамагнітафон*, з’яўляюцца новымі. Аднак у соцыуме яны даўно адышлі ў пасіўны лексічны склад.

У параўнанні з сённяшнімі лексічнымі працэсамі беларуская мова канца ХХ – пачатку ХХІ стагоддзя характарызувалася:

1) пашырэннем лексічнага складу за кошт наватвораў: *асобнік, жучок, рыначнік, радыённы, чаўнок* і інш. і семантычных запазычанняў: *іконка, мыш, сабака, вертыкаль* і інш;

2) папаўненнем слоўнікавага складу беларускай мовы паланізмамі, якія з’яўляліся дублетамі беларускіх нарматыўных лексем. Такія працэсы былі звязаны ў першую чаргу з тэндэнцыяй да замены лексічных адзінак, сугучных са словамі рускай мовы, уключаючы сугучныя запазычання: *амбасада* (польск. *ambasada*) *замест пасольства*, *улётка* (польск. *ulotka*) *замест лістоўка*, *наклад* (польск. *nakład*) *замест тыраж*, *спартовы* (польск. *sportowy*) *замест спартыўны* і пад;

3) Вяртаннем з пасіўнага запасу ўстарэлых слоў. Частка іх запазычана ў свой час з польскай мовы, а некаторыя сустракаюцца ў беларускіх заходніх гаворках: *адсотак* (польск. *odsetek*, укр. *відсоток*), *стасункі* (польск. *stosunek*), *філіжанка* (польск. *filizanka*), *травень* (укр. *травень*) і пад.

Зараз такія лексічныя працэсы не з’яўляюцца характэрнымі для беларускай мовы, паколькі знешнія фактары, якія ўплывалі на іх, страцілі сваю актуальнасць.

Сёння ж, дзякуючы развіццю сацыяльных сетак і Інтэрнэт-каналаў, якія спрыяюць з-за ананімнасці нязмушанай камунікацыі, адбываецца жарганізацыя літаратурнай мовы не толькі ў маўленні носьбітаў, але і ў публікацыях СМІ ў публічных крыніцах: *вайб, глюк, крынж, краш, пруфы* і інш. Гэта адлюстроўвае характэрную для сучаснага стану маўлення тэндэнцыю да агрублення і пацвярджае ўплыў знешніх фактараў на ўнутрымоўныя працэсы.

Неалогія з’яўляецца адной з актуальных галін сучаснага мовазнаўства. Таму аўтары слоўнікаў працягваюць збор матэрыялу для наступных неаграфічных выданняў:

ГАЗЛАЙТЫНГ, -у, м. (англ. *Gaslighting*, ад назвы п’есы П. Гамільтана *Gas light* – «Газавае святло»). Форма псіхалагічнага гвалту з мэтай прымусіць асобу сумнявацца ў адэкватным успрыманні рэчаіснасці і сваіх паводзінаў. *Сёння слова (газлайтынг) выкарыстоўваецца для апісання чыёй-небудзь спробы зруйнаваць уяўленне пра рэальнасць.* (wikipedia.org).

ІНЦЭЛ, -а, м. (англ. *incel*, скарач. ад назвы сайта знаёмстваў *In(voluntary) Cel(ibacy)*). Прадстаўнік субкультуры ў сетцы Інтэрнэт, асоба, якая лічыць сябе няздольнай да рамантычных і сексуальных зносін. *Калі інцэлы няздольны на самарэалізацыю ў грамадстве і асабістым жыцці, то прадстаўнікам MGTOW уласціва ўстаноўка на самарэалізацыю...* (wikipedia.org).

КВАДРОБЕР, -а, м. (ад лац. *quattuor* – чатыры і англ. *aerobics* – аэробіка). Асоба, часцей падлетак, які імітуе дзеянні і паводзіны жывёл. *Калі маці вядзе на павадку дзіцяці-квадробера, у яе, хутчэй за ўсё, псіхічнае захворванне, заявіў акадэмік Расійскай акадэміі навук Генадзь Анішчанка ў мультымедычным прэс-цэнтры Sputnik Беларусь падчас відэа-моста Масква – Мінск – Бішкек – Ерэван – Ташкент на тэму: «Біябяспека краін ЕАЭС».* (bel.sputnik.by/).

ЛАБУБУ [з вялікай літары], нескл., ж. (кіт. *Labubu* – уласная назва). Плюшавая цацка-бірулька ў выглядзе монстра, створаная ганконгскім мастаком К. Лунгам. *Вы патрапілі ў падсобныя памяшканні Лабубу.* (yandex.by/games/app/).

ПЕТСІТАР, -а, м. (англ. *petsitter*). Асоба, якая аказвае паслугі па догляду за дамашнімі жывёламі. *Аднак найбольшая ўвага звяртаецца на петсітараў, якія могуць узяць да сябе чужых жывёл.* (www.sb.by/).

Такім чынам, неаграфічныя выданні і ў далейшым могуць з’яўляцца крыніцай даных для спецыялістаў (лінгвістаў, гісторыкаў, псіхолагаў, сацыёлагаў і інш.), якія вывучаюць не толькі дынамізм мовы ў пэўны перыяд часу, але і на падставе прыведзенай інфармацыі могуць меркаваць пра жыццё, праблемы і інтарэсы грамадства ў пэўны гістарычны перыяд.

Бібліяграфічныя спасылкі

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: belstat.gov.by.
2. Крысин, Л. П. О некоторых изменениях в русском языке конца XX века / Л. П. Крысин // Исследования по славянским языкам. № 5. Сеул, 2000. С. 63-91. URL: <http://www.philology.ru/linguistics2/krysin-00.htm>.
3. Уласевіч В. І., Даўгулевіч Н. М. Слоўнік новых слоў беларускай мовы // Мн: ТетраСистемс, 2009. 448 с.
4. Уласевіч В. І., Даўгулевіч Н. М. Беларуска-рускі тлумачальны слоўнік новых слоў і новых значэнняў слоў // Мн: Аверсэв, 2013. 225 с.
5. Уласевіч В. І., Даўгулевіч Н. М. Слоўнік новых запазычаных слоў беларускай мовы // Мн.: Беларусь, 2023. 175 с.
6. Уласевіч, В. І. Слоўнік новых слоў і новых значэнняў слоў: прынцыпы стварэння / В. І. Уласевіч, Н. М. Даўгулевіч // Сучасныя праблемы беларускай лексікалогіі і лексікаграфіі: Матэрыялы міжнароднай навуковай канферэнцыі Інстытута мовазнаўства імя Якуба Коласа НАН Б, 19-20 лістапада 2005. Мінск: «Права і эканоміка», 2006. С. 116–122.
7. Уласевіч, В. І. Беларуска-рускі тлумачальны слоўнік новых слоў і новых значэнняў слоў: прынцыпы стварэння / В. І. Уласевіч, Н. М. Даўгулевіч // Беларуская лінгвістыка. 2013. Вып. 70. С. 70–78.
8. Уласевіч, В. І. Прынцыпы стварэння «Слоўніка новых запазычаных слоў беларускай мовы» / В. І. Уласевіч, Н.М. Даўгулевіч // Беларуская лінгвістыка. 2023. Вып. 91. С. 55–61.
9. Гак, В. Г. Новые слова и новые словари / В. Г. Гак // Новые слова и словари новых слов / Отв. ред. Н.З. Котелова. Ленинград, 1983. С. 29.
10. Павлов, Г. Коррозия родного языка. Рэжым доступу: www.relga.ru.
11. Романов, А. Ю. Англицизмы и американизмы в русском языке и отношение к ним / А. Ю. Романов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2000. 151 с.

ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В РАЗНОУРОВНЕВОЙ ГРУППЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МЕЖКУЛЬТУРНОЙ КОММУНИКАЦИИ

Н. М. Левданская¹⁾, Т. В. Беляева¹⁾, Л. Н. Никитина¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kfl-isei@bsu.by

В статье рассматриваются методические особенности организации обучения английскому языку в разноуровневых группах студентов высших учебных заведений. Анализируются основные трудности, возникающие в процессе обучения в условиях неоднородного состава группы, а также обосновывается целесообразность применения дифференцированного и коммуникативно ориентированного подходов. Особое внимание уделяется педагогическим технологиям и методическим принципам, обеспечивающим эффективность обучения, поддержание мотивации обучающихся и развитие их коммуникативной компетенции.

Ключевые слова: разноуровневая группа; дифференцированный подход; коммуникативный подход; проектное обучение; формирующее оценивание.

CHALLENGES OF TEACHING A FOREIGN LANGUAGE IN A MULTI-LEVEL GROUP IN PREPARING FOR PROFESSIONAL INTERCULTURAL COMMUNICATION

N. M. Levdanskaya¹⁾, T. V. Belyaeva¹⁾, L. N. Nikitina¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dogobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kfl-isei@bsu.by

The article examines the methodological aspects of teaching English in multi-level groups of university students. It analyzes the main challenges encountered in teaching a multi-level group and substantiates the feasibility of using differentiated and communicative approaches. Particular attention is paid to the technologies and methodological principles that ensure effective learning, maintain student motivation, and develop their communicative competence.

Keywords: multi-level group; differentiated approach; communicative approach; project-based learning; formative assessment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-317-321>

Современный этап развития высшего образования характеризуется активной интернационализацией, расширением академической мобильности и устойчивым ростом числа иностранных студентов. Образовательная среда становится пространством интенсивного межкультурного взаимодействия, в котором пересекаются различные языковые картины мира, образовательные традиции и ценностные системы. В этих условиях языковой и культурный барьеры выступают не только как объективные трудности адаптации, но и как серьезный вызов для организации образовательного процесса. В настоящее время практика преподавания иностранного языка в МГЭИ имени А. Д. Сахарова БГУ может быть охарактеризована следующей тенденцией при формировании учебных групп по иностранному языку: в одной аудитории оказываются студенты с уровнем владения языком от beginner до elementary (A1), а иногда

и pre-intermediate (A2), и intermediate (B1). Однако основная сложность заключается не столько в разнице уровней подготовки студентов, сколько в особенностях языковой компетенции первокурсников. Обладая пассивным словарным запасом и, часто, начальными навыками чтения и перевода, студенты не готовы к восприятию речи на слух и устной коммуникации, что еще более осложняется недостаточным уровнем владения русским языком и невозможностью использовать его в качестве языка-посредника. Одновременно с этим, студенты испытывают естественные проблемы интеграции в новую социокультурную среду, что является, несомненно, стрессовой ситуацией и сказывается на взаимодействии во время учебного процесса.

В условиях организации учебного процесса перед преподавателем стоит задача организовать занятия таким образом, чтобы обеспечить доступность учебного материала для менее подготовленных студентов и одновременно создать условия для развития более сильных обучающихся. Первая наиболее очевидная и распространённая проблема – это разный темп работы и степень усвоения материала. Студенты с более высоким уровнем языковой подготовки быстрее осваивают лексический и грамматический материал, в то время как обучающимся с недостаточной базой требуется дополнительное время на то, чтобы понять, проанализировать и запомнить лексические и грамматические структуры. «Усреднённое» универсальное задание «для всех» не работает в таких условиях: слабые студенты не успевают и выпадают из учебного процесса, в то время как продвинутые скучают и тоже теряют интерес. Методически данную проблему можно решить за счёт дифференцированных по уровню сложности и степени продуктивности упражнений. Подобное разделение в обязательном порядке должно опираться на сильные стороны студентов. Один и тот же тематический материал может быть представлен заданиями репродуктивного характера для «слабых» студентов и продуктивными, а в некоторых случаях и творческого характера для «продвинутых». Например, работая с одним и тем же текстом, студенты уровня A1 получают задание найти, выписать и перевести все глаголы, студенты уровня A2 должны употребить глаголы в прошедшем времени в предложениях из текста, добавив в них слова-маркеры, а студенты B1 пересказывают текст от лица главного героя в прошедшем времени. Обязательным является предоставление каждому уровню опоры (scaffolding (строительные леса)) для построения ответа: для «слабых» – это таблицы и модели ответов, визуальные опоры (картинки, схемы, реальные предметы), для «продвинутых» – речевые клише. Такой подход позволяет сохранить единое тематическое поле занятия при вариативности путей достижения учебного результата.

Следует отметить еще одну проблему, которая тесно связана с первой – это снижение мотивации. У студентов с низким уровнем языковой подготовки отсутствие мотивации может быть результатом хронической тревожности и боязни ошибиться, а у «сильных» – из-за ощущения отсутствия результата и скуки. В этой связи методически оправданным является применение формирующего оценивания, ориентированного на индивидуальный прогресс вместо результативного, оперирующего понятиями «правильно/неправильно». Очевидно, что оправданным будет применение принципа «сравнения с собой вчерашним», который является психологической установкой, при которой учащийся оценивает свою динамику, свой рост и достижения в освоении материала, а не сравнивает себя с другими. Для одних достижением будет правильно построенный вопрос, когда для других – красиво составленное высказывание с употреблением идиом. Стоит особо выделить проектную деятельность как средство повышения мотивации, которая даёт возможность объединить в группы студентов разного уровня и распределить среди них роли, соответствующие их возможностям. «Слабый» студент может создавать визуальный ряд презентации, «средний» – компилировать текст, а «сильный» – выступать в роли докладчика, внося каждый свой вклад в общий успех и чувствуя свою значимость.

Из вышеуказанных проблем вытекает проблема трудности выбора унифицированного учебного материала. Задания, рассчитанные на абстрактного усреднённого студента, не от-

вечают потребностям всей группы: аутентичное аудирование является непосильным для студентов с низким уровнем подготовки, в то время как упрощённые, адаптированные записи не представляют интереса для остальных студентов.

С точки зрения методики целесообразным является использование заданий открытого типа, предполагающих разный объём и сложность языкового оформления с сохранением общей коммуникативной цели. Для «слабых» студентов подойдёт аудирование с опорой на текст с механическим заданием – вычеркнуть неправильные слова. Для «сильных» – без текстовой поддержки и со смысловым заданием, например, true/false вопросы, с обязательной последующей аргументацией. Эссе, дебаты, презентации – так называемые «открытые задания» – позволяют студенту выбрать уровень языковой сложности: кто-то напишет 5 предложений, другой – развёрнутое сочинение, и это будет достижением для каждого, причём тема и формат работы останутся общими. Таким образом соблюдаются принципы коммуникативного обучения, где в приоритете всегда умение высказаться, не формальная безошибочность.

Принцип коммуникативного обучения требует правильной организации устной речевой деятельности в разноуровневой группе. «Сильные» студенты в ситуациях спонтанного общения часто берут инициативу на себя, не давая менее подготовленным принять участие в обсуждении, поскольку такие студенты не говорят не потому, что не знают лексический материал, а потому, что не умеют быстро строить фразы. Чтобы выйти из такой ситуации необходимо структурировать речевую деятельность, используя чётко заданные роли, речевые опоры, пошаговую подготовку высказывания. Хорошо себя зарекомендовали диалого-конструкторы с набором языковых шаблонов. Например, студент А1 может задавать вопросы из списка, А2 – отвечать, используя опоры, а В1 – самостоятельно суммирует сказанное. Обязательное правило при таких заданиях – «никакой спонтанной речи без подготовки». Необходимо в обязательном порядке выделять время на составление письменного плана и подбор ключевых слов, и только потом – говорение. Использование языковых шаблонов и моделей высказываний снижает уровень тревожности и помогает формировать уверенность в собственных речевых возможностях. Поэтапный переход от высказываний по шаблонам к свободному говорению обеспечивает постепенное развитие коммуникативных навыков студентов.

Наиболее остро в условиях разноуровневого обучения стоит проблема оценивания. Традиционные единые критерии оценки в равной степени снижают мотивацию как «слабых», так и «сильных» учащихся. Преодоление данного противоречия происходит через критериальное оценивание с разделением на параметры: лексическое разнообразие, грамматическая правильность, связность и беглость речи. Для студентов с низким уровнем подготовки вводится принцип «минимального успеха», где ключевым становится понимание коммуникативной задачи и способность дать ответ, хотя бы и с использованием опорных фраз. Для «продвинутых» студентов шкалу оценивания можно расширить, включив такие параметры, как сложные грамматические конструкции, использование идиоматических выражений, беглость речи и т.д. Как показала практика, использование взаимной оценки и самооценки формирует ответственность за образовательный результат и рефлексивные компетенции. Например, после устных высказываний студенты получают вопросы для взаимооценки, и могут отметить, что у выступающих получилось лучше всего, тем самым участь рефлексии и объективности оценивания. Такой подход также позволяет снять излишнюю критичность к себе и другим и развивает навык конструктивной обратной связи.

Системная работа в описываемых условиях базируется на совокупности взаимодополняющих педагогических и методологических технологий, где ведущую роль играет дифференцированный подход. Его базовый принцип – варьирование содержания, процесса и результата учебной деятельности в зависимости от уровня языковой подготовки учащихся. В условиях вуза используется модульная организация материала, куда включён обязательный минимум, формирующий базовые языковые навыки и задания повышенной сложности, развивающие

аналитические и продуктивные умения. Это позволяет сохранить целостность учебного курса, обеспечивая индивидуальный подход. На практике это выглядит так: при изучении темы «Environmental pollution» студенты уровня A1 получают задание составить 5 простых предложений по образцу «I can ... to help the environment»; студенты уровня A2 пишут мини-эссе «Why it is important to help the environment»; студенты уровня B1 – эссе «Sollution-based», предлагая одно решение по спасению окружающей среды, аргументируя свой выбор. Причём студентам каждого уровня предоставляется дифференцированная опорная лексика.

В сочетании с дифференциацией методической основой организации учебного взаимодействия выступает коммуникативный подход, который, однако, требует адаптации. При работе в разноуровневой группе необходимо следовать главному принципу: у студентов – общая коммуникативная задача, но разные языковые ресурсы для её выполнения. Также в приоритет нужно ставить смысловой аспект высказывания, а не формальную корректность, что очень важно для студентов с языковым барьером. Реализация коммуникативного замысла может проходить на разном языковом уровне – от простых реплик с использованием опорных фраз. До развёрнутых высказываний. Например, задание «Узнай, что твой одноклассник ел на завтрак». «Слабый» студент спросит «Do you like eggs?», а «What did you have for breakfast yesterday? Could you recommend me something?» Ошибки в процессе исправлять не стоит: фокус смещён в сторону достижения смысла, а исправить ошибки можно на этапе рефлексии и в индивидуальном порядке.

Одним из наиболее эффективных методических ресурсов можно назвать использование заданий открытого типа, которые допускают высокую степень вариативности их исполнения. Дискуссии, кейсы (case studies), проблемные вопросы и проекты дают возможность проявиться для сильных и высказаться слабым. В кейсе «Вы в Лондоне и хотите пообедать» слабый студент может просто попросить что-то из меню, а сильный – разыграть полноценный диалог с продавцом. В таких кейсах дополнительное значение приобретают технологии обучения в сотрудничестве, реализуемые через парную и групповую работу. Формирование пар или групп по принципу «сильный – слабый» (в описываемой ситуации – это два посетителя и официант) способствует взаимному обучению: менее подготовленные обучающиеся получают образцы языкового поведения, а более сильные – возможность вербализации собственных знаний, что способствует развитию метаязыковой компетенции и эмпатии.

Проектная работа способствует не только развитию языковых навыков, но и развитию целого комплекса компетенций, включая сбор и анализ данных, ведение переговоров и дискуссий, подготовку и проведение мини-презентаций.[1] Проектная деятельность позволяет перераспределять учебные роли с учётом индивидуальных возможностей обучающихся. Это могут быть презентации стран, создание инфографики, запись подкаста или видео-рецепта. В проекте «Видео-рецепт» слабые студенты могут просто показывать ингредиенты и называть их, а сильные – комментировать процесс приготовления, используя сложные лексические и грамматические конструкции. Важным является не только конечный продукт проекта, но и процесс его выполнения, включающий этапы поиска информации, её отбора, языкового оформления и презентации результатов. Данная технология способствует формированию автономии студентов, развитию навыков сотрудничества и осознанию практической значимости иностранного языка как средства профессионального и межкультурного общения.

Необходимым результатом обучения является оценивание. В разноуровневых группах следует сосредоточиться на формирующем оценивании, главная цель которого – отслеживать прогресс каждого студента и на основе этих данных корректировать обучение. Инструментами такого оценивания выступают exit tickets (карточки выхода), где студенты пишут, что они поняли, а что нет; мини-тесты; рефлексивные дневники; портфолио.

Учитывая методику преподавания иностранного языка в разноуровневой группе, преподаватель опирается на систему принципов, отражающих специфику данного формата учебного

взаимодействия. Принципы индивидуализации обучения, доступности, активности и сознательности позволяют сохранить единое образовательное пространство при наличии индивидуальных траекторий усвоения материала. При подготовке занятий преподаватель отбирает разноуровневые тексты и задания, объединённые общей тематикой и коммуникативной направленностью. Студенты имеют возможность выбрать объем материала и сложность работы. В рамках одного и того же задания студент может продемонстрировать минимально достаточный или расширенный уровень владения языком, что способствует снижению тревожности и повышению учебной мотивации. Такой подход соответствует современным представлениям о субъектности обучающегося и способствует формированию ответственности за собственный учебный результат.

Таким образом, разноуровневая группа не должна рассматриваться как исключительно методическая проблема. При грамотно выстроенной системе дифференцированных заданий, формирующего оценивания, коммуникативно ориентированных и проектных технологий, а также при постоянной ориентации на индивидуальный прогресс каждого обучающегося она может выступать эффективным дидактическим ресурсом, способным не только обучить языку, но и помочь преодолеть психологический и языковой барьеры, развить автономию обучающихся, сформировать навыки сотрудничества и поддержать устойчивую учебную мотивацию. Работа преподавателя в таких условиях предполагает гибкость, методическую вариативность и ориентацию на индивидуальный прогресс студентов, что соответствует современным требованиям к иноязычному образованию в высшей школе.

Библиографические ссылки

1. *Свейникова С. А.* К вопросу развития навыков говорения в разноуровневых группах при обучении английскому языку в техническом вузе // Актуальные проблемы гуманитарного знания в техническом вузе : Сборник научных трудов X международной научно-методической конференции. В 2 томах. Том 2, Санкт-Петербург, 23–24 октября 2025 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2025. С. 210–213.

РАЗВИТИЕ РАЗГОВОРНЫХ НАВЫКОВ СТУДЕНТОВ ПОСРЕДСТВОМ ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ChatGPT)

М. В. Орлова¹⁾, И. М. Качан¹⁾, А. И. Тюрдеева¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, kfl@iseu.by

В статье представлен анализ педагогического потенциала генеративных систем искусственного интеллекта на примере ChatGPT в процессе формирования разговорной компетенции студентов. Раскрываются теоретические основания интеграции ИИ в образовательную среду, механизмы его влияния на развитие устной речи, а также практические модели использования в учебном процессе. Уделяется внимание вопросам персонализации обучения, снижению коммуникативной тревожности и формированию метакогнитивных и цифровых компетенций. Обосновывается необходимость методически выверенного сочетания цифровых технологий и живого педагогического взаимодействия.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект; разговорная компетенция; обучение иностранным языкам; персонализация обучения; процесс обучения.

DEVELOPMENT OF STUDENTS' SPEAKING SKILLS THROUGH DIALOGUE SYSTEMS BASED ON GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ChatGPT)

M. V. Orlova¹⁾, I. M. Kachan¹⁾, A. I. Turdeeva¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, kfl@iseu.by

The article provides analysis of the pedagogical potential of generative artificial intelligence systems with particular reference to ChatGPT in the development of students' speaking competence. The theoretical foundations of AI integration into educational environments are examined along with the mechanisms through which generative tools influence oral communication skills. Practical models of implementation are described including dialogic simulations, argumentative discussions and intercultural communication tasks. Attention is paid to issues of personalized learning, reduction of communicative anxiety and the development of metacognitive and digital competences. The necessity of a methodologically sound integration of digital technologies and live pedagogical interaction is substantiated.

Keywords: generative artificial intelligence; speaking competence; foreign language teaching; personalized learning; educational process.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-322-325>

Развитие разговорной компетенции является наиболее сложной и значимой задачей обучения иностранному языку в контексте высшего образования. Способность обучающихся к спонтанной устной коммуникации требует не только знаний лексико-грамматических структур, но и умений быстро обрабатывать информацию, формулировать мысли в реальном времени, а также учитывать ситуацию общения и социокультурные особенности собеседника. На сегодняшний день в процессе обучения иностранному языку активно используются генеративные технологии искусственного интеллекта, такие как ChatGPT, Gemini, Claude, Perplexity AI и др. Данные языковые модели имитируют диалогическое взаимодействие между обучающим-

ся и цифровым ассистентом, адаптируясь к уровню студента и формируя различные ситуации речевого взаимодействия. Важно отметить, что названные особенности позволяют рассматривать генеративный ИИ как инструмент активизации разговорной практики. А в условиях цифровой трансформации образования это открывает новые возможности для расширения речевой практики вне аудитории.

Следует подчеркнуть, что зарубежные исследования в области применения искусственного интеллекта в языковом образовании отмечают рост интереса к генеративным моделям как инструментам развития продуктивных видов речевой деятельности. Данная тенденция нашла отражение в работах китайского автора Сюэцзюнь Чжай (англ. Xiaojun Zhai), в которых отмечено, что крупные языковые модели (англ. Large Language Models) способствуют формированию интерактивной языковой среды, которая быстро реагирует на ошибки обучающегося и изменяет соответственно сложность заданий в ходе выполнения задания [1]. Автор считает, что генеративные системы помогают облегчить переход от традиционного содержания учебника к интерактивному цифровому диалогу, что делает процесс обучения более коммуникативно ориентированным.

В своих работах Энкеледжда Каснечи (англ. Enkelejda Kasneci) анализирует влияние генеративных моделей на развитие метакогнитивных навыков обучающихся. Автор говорит о том, что корректная педагогическая интеграция ИИ формирует рефлексивное отношение к языку, так как обучающиеся сравнивают собственные формулировки с вариантами, предложенными ИИ [2]. Данный процесс является важным элементом развития метаязыковой осознанности студентов. Таким образом, акцент смещается с самой технологии на условия её методически грамотного использования.

Британский исследователь Уэйн Холмс (англ. Wayne Holmes) уделяет большое внимание вопросам этики и цифровой грамотности. В своей работе «Artificial Intelligence in Education» автор указывает на необходимость развития критического мышления при взаимодействии с ИИ, чтобы обучающиеся могли адекватно оценивать корректность, релевантность и достоверность генерируемого контента [3]. Обучающиеся учатся анализировать генерируемый контент и отсеивать неподходящую информацию.

Развитие разговорной компетенции предполагает свободное владение языком на практике и включает в себя лингвистический, социолингвистический, прагматический и стратегический компоненты. Формирование данной компетенции у обучающихся неразрывно связано с развитием беглости речи, лексической гибкости, грамматической точности, а также умением управлять коммуникативными стратегиями и компенсировать недостаток языковых средств.

Можно выделить несколько механизмов воздействия генеративного искусственного ИИ на развитие разговорной компетенции обучающихся:

1) **увеличение объёма речевой практики.** Цифровая среда не ограничивает обучающихся во времени, в отличие от аудиторных занятий, что способствует регулярному и многократному повторению и практике. Благодаря этому языковые структуры намного быстрее автоматизируются и развивается навык бегло выражать свои мысли в диалоге или монологе;

2) **индивидуализированная обратная связь.** Генеративный ИИ помогает исправлять грамматические, лексические и стилистические ошибки в ходе выполнения заданий. Так, обучающиеся развивают метаязыковую осознанность и умение самостоятельно корректировать свои ошибки;

3) **снижение аффективного барьера.** В ходе выполнения заданий с генеративным ИИ, обучающиеся не ощущают оценочного давления со стороны преподавателя, отсутствует страх ошибки. Это способствует снижению уровня тревожности и повышает коммуникативную активность;

4) **расширение коммуникативных сценариев.** При помощи генеративного ИИ можно создавать разнообразные речевые ситуации, что способствует развитию прагматической и социокультурной компетенции обучающихся.

Ниже представлено несколько развернутых примеров заданий с использованием генеративного ИИ. Задания предполагают постановку коммуникативной задачи, имитацию учебной ситуации, алгоритм работы и анализ образовательного эффекта.

Пример 1. Моделирование профессионального собеседования.

Коммуникативная задача – формировать навыки самопрезентации, развить умения монологической и диалогической речи в контексте профессионального общения.

Учебная ситуация – смоделировать ситуацию, вступив в диалог с ИИ (например, прохождение интервью для стажировки в международной компании).

Инструкция обучающемуся. Составьте краткий рассказ о себе, своем образовании и своих профессиональных навыках и пройдите интервью на соискание должности в международной компании. Вашим собеседником выступит ИИ.

Алгоритм работы. Сначала обучающийся составляет краткий рассказ о себе (не более 2 минут устной монологической речи). Далее «соискатель» вступает в диалог с генеративным ИИ. В данной речевой ситуации ИИ выполняет роль виртуального собеседника, основной задачей которого является формулирование уточняющих вопросов в зависимости от ответов студента. На заключительном этапе система проверяет и оценивает ответы и предлагает дополнительные варианты лексических и грамматических структур, формулировок и утверждений.

Фрагмент диалога.

Студент: My name is I am ... years old. I am from... I like I am a student of ... and I am currently studying environmental management. I would like to apply for the vacancy of ...

ИИ: Have you got any experience in environmental management?

Студент: Yes, I have / No, I have not.

ИИ: Did you participate in any research project concerning the environmental management?

Студент: Yes, I took part in the international conferences and I was the coordinator of the university project about waste reduction last year.

ИИ: What was your personal contribution to this project? What results were achieved?

Анализ и обратная связь. Система предлагает усилить конкретизацию («your personal contribution»), добавить профессиональные маркеры («I was responsible for coordinating...», «The project resulted in...»), а также использовать связующие элементы для составления последовательного ответа.

Образовательный эффект. У обучающихся развивается способность к осознанному представлению себя в профессиональной среде, обогащается лексический запас, совершенствуется логическая и последовательная структура речи. Многократное повторение формирует уверенность в реальных коммуникативных ситуациях и помогает избежать стресса при прохождении интервью.

Пример 2. Дискуссия с противоположной позицией.

Коммуникативная задача – развить способность аргументировать и сформировать навыки спонтанного (неподготовленного) говорения в речевых ситуациях.

Учебная ситуация – занять определённую позицию в дискуссии по актуальной социальной проблеме, а ИИ будет выступать оппонентом и выражать противоположную точку зрения по данному вопросу.

Инструкция обучающемуся. Обсудите влияние социальных сетей на молодежь. Аргументируйте, что соцсети имеют положительное влияние».

Алгоритм работы. Обучающийся высказывает первоначальный тезис. ИИ выдвигает контраргумент. Далее студент должен отреагировать, прояснить позицию и использовать аргументы в пользу своего мнения. После завершения дискуссии проводится анализ логической последовательности высказывания.

Фрагмент диалога.

Студент: Social media help young people stay connected and share ideas.

ИИ: However, many studies show that excessive use of social media may cause anxiety and reduced productivity.

Студент: Yes, you are partially right, that may be true in some cases but the social media provide educational resources and opportunities for professional growth.

ИИ: Do you have an example of how social media support professional development?

Образовательный эффект. Обучающиеся развивают способность обосновывать свою позицию, совершенствуют последовательность и связность речи, учатся реагировать на другие мнения и оценивать их.

Пример 3. Имитация межкультурного общения.

Коммуникативная задача – развить социокультурную и прагматическую компетенции, сформировать способность учитывать культурные особенности коммуникативной ситуации.

Учебная ситуация – объяснить национальные традиции иностранному студенту, учитывая возможные культурные различия.

Инструкция обучающемуся. Опишите национальный праздник своей страны иностранному коллеге, который не знаком с вашими традициями.

Фрагмент диалога.

Студент: We celebrate Maslenitsa in my country every year.

ИИ: What is Maslenitsa? Could you explain?

Студент: It's a traditional holiday before spring.

ИИ: What do people do on this holiday?

Студент: People eat pancakes, meet family and friends, and have fun.

Образовательный эффект. Обучающиеся учатся учитывать культурные различия, уточнять контекст и использовать объяснительные стратегии. Формируется прагматическая гибкость и умение адаптироваться к компонентам чужой культуры.

В заключении необходимо отметить, что применение генеративного ИИ на занятиях по обучению иностранному языку способствует формированию новой образовательной модели, где цифровая среда выполняет роль когнитивного посредника, который поддерживает процесс приобретения нового знания. Несмотря на высокий уровень развития систем ИИ, обучающиеся должны понимать, что ИИ ограничен алгоритмами и не может самостоятельно критически осмысливать информацию. Поэтому не исключены неточности, ошибки в формулировках, стилистические несоответствия и содержательные искажения. Однако, положительный эффект генеративного ИИ на процесс обучения представляется обоснованным. По мнению авторов, к положительным эффектам можно отнести значительное увеличение речевой активности студентов на занятии, правильность и беглость выражения мыслей, снижение уровня тревожности в процессе ответа, а также формирование навыков и развитие умений продуктивного говорения. Все перечисленное подтверждает высокий педагогический потенциал систем ИИ.

Вместе с тем важным условием остается педагогическое сопровождение. Преподаватель должен задавать рамки использования технологии, интегрировать задания в общую структуру курса и обеспечивать рефлекссию получаемого опыта.

Таким образом, оптимальная модель языкового образования предполагает синергию преподавателя и интеллектуальных цифровых инструментов, где технологии усиливают коммуникативную направленность обучения и способствуют более глубокому личностному и профессиональному развитию студентов.

Библиографические ссылки

1. Zhai, X. ChatGPT for Next Generation Science Learning // Journal of Educational Technology Development and Exchange. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 1–16.
2. Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education // Learning and Individual Differences. 2023. Vol. 103. P. 102274.
3. Holmes, W. Artificial Intelligence in Education: Promise and Implications for Teaching and Learning. London: UCL Press, 2022. P. 240.

К ПРОБЛЕМЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАНИИ

Н. Н. Талецкая¹⁾, Н. А. Грицай¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, taletskaya_16@rambler.ru

Основным объектом в представленной работе является использование искусственного интеллекта и новых цифровых технологий в образовании, а также изменения, возникшие в результате данного внедрения. Представлен переход компетентностного подхода в творчески-ориентированный и задачи каждого подхода. Выделены и описаны оценочные задания и инструменты оценок, содействующие данному переходу.

Особое внимание уделяется преимуществам и недостаткам, которые могут, с одной стороны, ускорить процесс внедрения новых цифровых технологий, с другой стороны, привести к созданию препятствий.

Ключевые слова: образовательная сфера; цифровые технологии; искусственный интеллект; преимущества; недостатки.

TO THE PROBLEM OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION

N. Taletskaya¹⁾, N. Gritsai¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, taletskaya_16@rambler.ru

The main focus of this article is on the use of artificial intelligence and new digital technologies in education, as well as the changes that have occurred as a result of this implementation.

The work presents the transition from a competency-based approach to a creativity-oriented approach, as well as the objectives of each approach. It also highlights and describes the assessment tasks and tools that facilitate this transition.

The article pays special attention to the advantages and disadvantages that can both accelerate the implementation of new digital technologies and create obstacles.

Keywords: education sphere; digital technologies; artificial intelligence; advantages; disadvantages.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-326-329>

Использование искусственного интеллекта в образовании активно обсуждается на протяжении многих лет. Сторонники полагают, что искусственный интеллект в образовательной сфере имеет много преимуществ. В первую очередь:

- позволяет избежать монотонной работы;
- улучшает поиск информации;
- экономит время при выборе образовательных материалов, а также в их подготовке;
- увеличивает качество материалов;
- обладает большей объективностью при оценивании результатов обучения [1].

Противники, в свою очередь, видят больше рисков и минусов, так как, с их точки зрения, это ведет к:

- препятствию в развитии творческого и креативного потенциала в выполнении учебных задач;

- зависимости от искусственного интеллекта и новых технологий;
- совершенствованию нормативно-правовой базы и решению этических задач;
- переподготовке преподавателей, способных работать с искусственным интеллектом и выполнять новые функции в учебном процессе;
- подготовке специалистов, обладающих достаточными знаниями для проведения экспертизы [2].

Следует учесть, что цифровые технологии развиваются ускоренными темпами, по этой причине, необходимо устанавливаемые запреты тщательно осмысливать и предварительно проверить [3].

Одновременно потребуется внести дополнения и изменения в образовательные стандарты и программы, направленные на формирование у обучающихся навыков работы с искусственным интеллектом.

Существуют мнения, что искусственный интеллект содействует трансформации образовательной парадигмы.

Это значит, что компетентностный подход в образовании, задача которого заключается в обеспечении будущего специалиста знаниями, умениями, навыками, не будет главенствующей. Компетентностный подход постепенно будет переходить в творчески ориентированный подход. Таким образом, меняется ориентир.

В основе творчески-ориентированного подхода заключен смысл в том, чтобы развить у обучающегося творческий, креативный и оригинальный потенциал [4].

Процесс перехода компетентностной парадигмы образования в творчески-ориентированную парадигму может осуществиться благодаря следующим оценочным заданиям и инструментам оценки:

- оценочные задания и инструменты, связанные с цифровыми технологиями способствующие созданию текстов и развитию критического переосмысления;
- оценочные задания и инструменты, не связанные с цифровыми технологиями (письменные работы, выполненные в присутствии учителей или преподавателей).

Следует подчеркнуть, что важным при выставлении оценки станет то, насколько творчески обучающийся умеет пользоваться информацией, данными, а также вести беседу или диалог, дискуссию. Во внимание не будет приниматься сам текст.

В этом и состоит основная функция оценочных заданий и их инструментов.

Известно, что оценочные задания и инструменты могут иметь несколько типов и их применение будет зависеть от содержания и технологий образования.

По мнению исследователей, сегодня важнейшей задачей станет регламентация применения искусственного интеллекта в образовании как вспомогательного инструмента. Инструмента, используемого при решении заданий повышенной сложности, либо имеющих рутинный характер [5].

В свою очередь искусственный интеллект способен повысить продуктивность организации образовательного процесса:

- 1) создание образовательного контента;
- 2) улучшение качества нецифровых учебных пособий;
- 3) защита персональных данных обучающихся;
- 4) построение индивидуальной образовательной программы;
- 5) цифровая поддержка;
- 6) совершенствование образовательной программы.

Создание образовательного контента.

Под образовательным контентом следует рассматривать:

- создание как новых упражнений, так и новых материалов или дополнений к основным материалам;

- сбор ключевых фраз по темам;
- нахождение сценариев для видеолекций и подкастов;
- создание изображений с целью дальнейшего их описания.

Важно отметить, что образовательный контент можно выбирать в соответствии с доступностью для обучающегося, по мере его освоения, по уровню знаний. Таким образом, непрерывность образовательной траектории будет гарантирована.

В настоящее время ChatGPT-3 находится в активном использовании при обучении иностранным языкам, а именно используется для отработки грамматических навыков, для симуляции разговоров и практики изучаемых языков.

Помимо ChatGPT нейросеть NoLeJ способна за пару минут не только преобразовать документ, сгенерировать интерактивное видео и аудио, но также создать практические задания и ключевые слова, глоссарий по указанному запросу [6].

Коррекция качества нецифровых учебных пособий.

Что касается обработки и улучшения качества нецифровых учебных пособий, то искусственный интеллект не имеет себе равных. Он способен воссоздавать учебные фильмы, пособия, материалы, аудио файлы и необходимые документы.

Защита личных данных обучающихся, преподавателей, административного персонала также необходима в эпоху цифровых технологий. Искусственный интеллект однако обеспечивает анонимность и защиту персональных данных [7]

Применение нейросети ChatGPT и похожих технологий в образовании позволяют всем участникам быстро и эффективно построить индивидуальную образовательную программу. Для этого искусственный интеллект адаптирует содержание программы под знания, умения и навыки обучающихся с учетом возрастных особенностей и психофизиологических нагрузок.

Относительно цифрового тьюторства, оно обеспечивает непрерывной поддержкой обучающегося, устраняет пробелы, отслеживает результаты, автоматически снабжает учебными материалами. Словом, оказывает постоянное руководство.

Совершенствование образовательных программ с помощью искусственного интеллекта стало особенно необходимым в дистанционном формате. При обучении иностранным языкам это явилось хорошей возможностью для обучающихся и для преподавателей.

Положительными примерами являются:

- разработка виртуальной среды с опорой на тематический материал образовательной программы;
- создание образовательных виртуальных тренажеров т.е. симуляторов;
- составление образовательных лабораторных онлайн упражнений,
- генерирование специальных программ 3D моделирования [8].

На этапе постепенного введения новых технологий в образовательную сферу необходимо учитывать тот факт, что преподаватели нуждаются в специальной подготовке при работе с искусственным интеллектом.

Не секрет, что новые технологии в состоянии выполнять задачи преподавателя, подбирать и объяснять учебный материал, оценивать его выполнение и многое другое. Как следствие, осуществлять роль преподавателя [9].

Необходимо особо отметить, что важным со стороны образовательного учреждения является установление определенных правил:

- использование системы Антиплагиат;
- разработка этических кодексов;
- чтение курса «Академическая честность». [10].

Подводя итог, можно смело сказать, что использование возможностей искусственного интеллекта в образовании следует рассматривать как возможность развития у обучающихся не

только правильного потребительского отношения, развитие творческих умений и навыков, но и критического мышления.

Анализируя и оценивая свои ответы, сравнивая и отстаивая свою точку зрения, обучающийся научится правильно использовать новые технологии.

При этом он будет испытывать эмоциональное удовлетворение от обучения, будет стараться интересно излагать свою точку зрения, мысли, с восторгом выполнять задания разного уровня сложности, что повысит успеваемость и продуктивность в обучении.

Библиографические ссылки

1. Павлюк Е. С. Роль искусственного интеллекта в высшем сетевом образовании // Психология, педагогика, языкознание: новые векторы развития: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, 20 октября 2022 года). Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «Ставропольское издательство «Параграф»», 2022. С. 61–63. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49621480_76464211.pdf (дата обращения: 20.02.2026).

2. Пашков М. В., Паškова В. М. Проблемы и риски цифровизации высшего образования // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 3. С. 40–57.

3. Скрипниченко П. Нейросети в образовании: противник или союзник? // itWeek. URL: <https://www.itweek.ru/ai/article/detail.php?ID=225845>. (дата обращения: 21.02.2026).

4. Харабаджах М. Н. Преимущества и риски использования искусственного интеллекта в высшем образовании // Проблемы современного педагогического образования. 2022. № 77-1. С. 295–298. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50256304>. (дата обращения: 21.02.2023).

5. AI в обучении: на что способны технологии уже сейчас? Сессия 49 // Сбер.университет. URL: <https://sberuniversity.ru/edutech-club/events/seminaredutech-sessiya-49/?ysclid=174ep9mz5n723464186>. (дата обращения: 20.02.2026).

6. Nolej I. O. Automatically convert documents (Text, Video, Audio) into dynamic active learning content through the use of AI // URL: <https://nolej.io/>. (дата обращения: 20.02.2026).

7. Dilmegani C. Synthetic Data vs Data Masking: Benefits & Challenges in 2023 // AIMultiple. URL: <https://research.aimultiple.com/synthetic-data-vs-data-masking/>. (дата обращения: 21.02.2026).

8. Константинова Л. В. Генеративный искусственный интеллект в образовании: дискуссии и прогнозы // Проблемы образования. Открытое образование. Т. 27. № 2. 2023 С. 36–48.

9. Лапаев Л. Л., Машенская Т. Н. Использование технологии GPT-3 в искусственном интеллекте при изучении иностранного языка // Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом: материалы (тезисы) 49-й международной конференции (Москва, 26–27 мая 2022 года). М.: АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий», 2022. С. 101–103.

10. Климкина Л. П. Искусственный интеллект в сфере образования // Проблемы формирования и перспективы развития научного, образовательного и имиджевого потенциала Российских вузов в глобальном цифровом образовательном пространстве: материалы Международной научно-практической конференции (Пенза, 30–31 марта 2022 года). Пенза: Издательство: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. С. 56–59.

ТРУДНОСТИ В ИЗУЧЕНИИ РУССКОГО ЯЗЫКА У ТУРКМЕНСКИХ СТУДЕНТОВ

Е. Г. Устименко¹⁾, Л. А. Кистрина¹⁾, И. Ф. Мишкин¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, evoshhilo@mail.ru

В статье рассматриваются трудности в изучении русского языка у туркменских студентов. Представлены основные различия в русском и туркменском языках на фонетическом, морфологическом, лексическом, синтаксическом языковых уровнях. Проанализированы результаты лингвистического эксперимента, основанного на выявлении наибольших трудностей у туркменских студентов при изучении русского языка. Обнаружено, что сложность представляют задания на всех четырех уровнях языка, что обуславливается типологическими особенностями сравниваемых языков.

Ключевые слова: фонетика; грамматика; лексика; синтаксис; русский язык; туркменский язык.

DIFFICULTIES IN LEARNING RUSSIAN AMONG TURKMEN STUDENTS

E. G. Ustimenko¹⁾, L. A. Kistrina¹⁾, I. F. Mishkin¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, evoshhilo@mail.ru

This article examines the difficulties Turkmen students face in learning Russian. It presents the key differences between Russian and Turkmen at the phonetic, morphological, lexical, and syntactic levels. The results of a linguistic experiment to identify the greatest difficulties Turkmen students face in learning Russian are analyzed. It has been found that tasks involving four language levels are the most challenging, reflecting the typological characteristics of the compared languages.

Keywords: phonetics; grammar; vocabulary; syntax; Russian language; Turkmen language.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2026-2-330-334>

В последние годы учреждения высшего образования Республики Беларусь, оказывающие экспорт образовательных услуг, являются весьма востребованными среди иностранных студентов, в частности, среди туркменских студентов. Прибыв в нашу страну для обучения, туркменские студенты сталкиваются с проблемой недостаточного владения русским языком. В силу того, что знание русского языка существенно облегчает как процесс адаптации, так и саму учебу, проблема изучения русского языка для иностранцев стоит очень остро.

Русский и туркменский языки совершенно разные по происхождению. Русский язык принадлежит к славянской группе индоевропейской семьи языков, а туркменский язык является представителем огузской группы тюркской семьи языков. Несмотря на разное происхождение, данные языки в силу взаимного влияния имеют как сходства, так и различия. Языковые различия вызывают трудности у туркменских студентов при изучении русского языка на всех языковых уровнях: фонетическом, морфологическом, лексическом, синтаксическом. Среди наибольших трудностей можно выделить такие, как фонетика (отсутствие твердых и мягких согласных, некоторых шипящих, ь и ъ знаков), грамматика (падежная система и склонение, категории вида, глаголы движения), лексика (бедный словарный запас, по

сравнению с русским языком, стилистическая окраска, заимствования), синтаксис (порядок слов в предложении) и др. [1].

Цель данной работы – рассмотреть особенности репрезентации языковых уровней в русском и туркменском языках и установить аспекты, вызывающие наибольшую трудность при изучении русского языка у туркменских студентов.

Для того чтобы обучение РКИ было успешным, преподавателю необходимо учитывать личностные и культурные особенности учащихся, знать специфику строя языка студентов-иностранцев. Проанализировав собственный опыт работы с туркменскими студентами, опишем сложности в различии и восприятии двух языков.

Фонетические особенности. Трудности у туркмен вызывают шипящие согласные звуки русского языка, например, звук [ш]. Данный звук отсутствует в туркменском языке. Среди согласных имеются похожие звуки и буквы, например, буква *Ş*, которая обозначает звук [ш] (как в русском *шар*) и является аналогом [ш] в кириллице, а также буква *Ç*, передающая звук [ч] (как в русском *часы*).

В отличие от русских *з, с* согласные *z, s* в туркменском языке являются межзубными, т.е. при произношении их кончик языка находится между верхними и нижними зубами, например, *salam* ‘привет’, *dokuz* ‘девять’. Звук *ň* – это специфический согласный звук туркменского языка, который отсутствует в русском языке. Он носовой, заднеязычный, взрывной звук. При произнесении этого звука мягкое нёбо опускается, поток воздуха идет через носовую полость, например, *soň* ‘потом’, *goňsy* ‘сосед’ и др. [2].

Что касается гласных звуков, то в туркменском языке гласные делятся на твердые (*а, о, и, у*) и мягкие (*і, е, ä, ü, ö*), при этом мягкие гласные (*і, е, ä, ü, ö*) смягчают предшествующие им согласные. Данный фонетический закон гласных получил название сингармонизма. В связи с отсутствием *ь* и *ъ* знаков в туркменском языке и вследствие сингармонизма трудности у туркменских студентов вызывает произношение и дифференциация лексем «лёд» и «льёт». Им сложно понять значение *ъ* и *ь* знаков, которые не произносятся, но влияют на произношение.

Большое значение в туркменском языке имеет такая фонетическая особенность, как долгота гласных. По долготе гласных определяется смысл слова, например, *at* ‘лошадь’ – *a:t* ‘имя’, *ot* ‘трава’ – *o:t* ‘огонь’. В русском языке ударный слог является долгим. И именно здесь возникает трудности с постановкой ударения в словах и понятием «слог ударный» и «безударный». В отличие от русского в туркменском языке звук *у* ‘ы’ встречается и в начале слова, например, *ylym* ‘наука’, *ynha* ‘вот’, *ylgamak* ‘бежать’ и др. [2].

Для того чтобы овладеть фонетической системой русского языка иностранным студентам нужно освоить навык дифференцирования фонем: слуховой при восприятии и моторный при говорении. Следовательно, на занятиях по вводно-фонетическому курсу необходимо объяснить, как образуется тот или иной звук (рассказать про ряд, положение языка, губ и т. д.) Студент должен понять механизм воспроизведения той или иной фонемы и продемонстрировать приемлемый результат, а при ограниченном количестве времени, отведенном на изучение дисциплины, важно рационально его использовать, грамотно планируя занятия и максимально наполняя их лексикой.

Морфологические особенности. Основное различие сравниваемых языков заключается в грамматическом строе. Туркменский язык по своей структуре относится к агглютинативным языкам, т. е. к корню слова последовательно присоединяются определенные аффиксы, например, *kitap* – книга, *kitapda* – в книге, *kitapdan* – из книги, *kitabym* – моя книга, *kitabymyz* – наша книга, *kitabymyzda* – в нашей книге, *kitaplar* – книги (мн.ч.), *kitaplarymyzda* – в наших книгах,

kitaplarymyz dakylar – находящиеся в наших книгах; *oka* – читай, *okamak* – читать, *okalan* – прочитанный, *okai* – читайте, *okanlardan* – от прочитавших и т. п. Русский язык является флективным, где окончания выражают одновременно несколько грамматических значений (род, число, падеж), например, *реша-ть, реша-л, реша-ющ-ий, реша-й-те; стол, стол-а, стол-у, стол-ом; бежать, за-бежать, по-бежать, у-бежать, при-бежать* и т. п. [3, с. 76–77].

В туркменском языке нет грамматической категории рода, поэтому для обозначения биологического пола людей и животных существуют различные способы:

1) само значение слова указывает на половые различия: *kaka* – отец, папа, *eje* – мать, мама, *sugur* – корова, *öküz* – бык, *towuk* – курица, *horaz* – петух.

2) в некоторых словосочетаниях принадлежность к полу определяется лексическим значением одного из слов, например: *erkek dogan* (дословно: мужчина брат) – ‘брат’; *ayal dogan* (дословно: женщина брат) – ‘сестра’.

Имена прилагательные в русском языке изменяются и согласуются с существительными в роде, числе и падеже, а в туркменском языке они не изменяются, например, *gyzyl galam* – **красный** карандаш, *gyzyl galamyň* – **красного** карандаша, *gyzyl galamlar* – **красные** карандаши [2].

Лексические особенности. В лексическом плане трудности могут вызывать семантически близкие прилагательные (*горячая погода; жаркая вода*); значения приставок в составе однокоренных слов (*Врач записал лекарства; Он подписал адрес*). Наблюдаются ошибки в употреблении глаголов движения (*Студент пришёл из Туркменистана; На каникулах мы пойдём в музей*). Зачастую туркменские студенты не дифференцируют глаголы со значением некротного и кратного движения (*Я сейчас иду в школу; Я часто хожу в школу*), так как в туркменском языке они передаются посредством одних и тех же лексем [4, с. 238].

В силу неоднородных культурных реалий в сравниваемых языках наблюдается большое количество безэквивалентной лексики, а также слов с частичными лексическими соответствиями. Язык невозможно изучать в отрыве от культурных аспектов. Это очевидно, так как язык является отражением культурных норм и традиций общества. Без знания контекста и символики некоторые понятия, фразы и явления могут казаться абстрактными, если их не разъяснить. Например, подготовив презентации по темам «Праздники Беларуси» и «Праздники Туркменистана», можно не только выявить различия в культуре празднования, ценности и нормы поведения, культурное и духовное наследие народа, но и узнать что такое «Масленица, «масленичный блин», «сжигание чучела». Можно попытаться провести параллели между праздниками двух культур и найти сходства и отличия, тем самым увеличив словарный запас.

Синтаксические особенности. В туркменском языке, как и в других тюркских языках, действует строгий порядок слов: **SOV (субъект – объект – глагол)**, где в начале предложения стоит подлежащее, потом следует дополнение и в конце предложения находится сказуемое. Например, *Men (S) hat (O) ýazyýaryn (V)* – Я пишу письмо (дословно: Я письмо пишу); *Men Minskde ýaşaýaryn* – Я живу в Минске (дословно: Я Минск в живу). В данном предложении туркменский предлог *de* ‘в’ присоединяется к дополнению в качестве аффикса [2].

Для выявления трудностей при изучении русского языка у туркменских студентов проведен небольшой лингвистический эксперимент, включающий задания по фонетике, морфологии, лексике, синтаксису. В данном эксперименте приняли участие 15 туркменских студентов 2-го курса факультета экологической медицины МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. Задания, предложенные для выполнения, представлены в таблице.

Задания для выявления трудностей при изучении русского языка

Задания	Ответ
Фонетический уровень языка	
Произнесите правильно слова:	
1. лук – люк	
2. брат – брать	
3. жизнь, пришёл	
4. дом – дома	
Морфологический уровень языка	
Поставьте существительные из скобок в правильную форму:	
1. Я иду к (друг)	
2. Мы учимся в (университет)	
Раскройте скобки, согласуя прилагательное с существительным:	
3. (красивый) женщина	
4. (жаркий) лето	
Лексический уровень языка	
Вставьте правильный глагол (собрать/набрать):	
1. В лесу мы _____ много грибов. Она _____ много вещей в примерочную.	
Выберите нужный глагол (идти/ходить):	
2. Вчера я _____ в кино. Сейчас я _____ в библиотеку.	
Замените слово антонимом:	
3. трудный экзамен – ... экзамен	
4. большой дом – ... дом	
Синтаксический уровень языка	
Составьте предложения из предложенных слов, учитывая падежные окончания:	
1. Студент, интересный, книга, читать	
2. Я, библиотека, вчера, в, ходить	
Исправьте синтаксические ошибки, связанные с неправильным управлением:	
3. Мы обсуждали о планах	
4. Он ехал на Минск	

В результате проведенного эксперимента установлено, что у туркменских студентов возникают сложности с восприятием и произнесением твёрдого и мягкого знаков: в паре *лук–люк* правильно прочитали первое слово 12 человек, что составляет 80 %, второе – 3 человека или 20 %. Пару *брать–брат* правильно прочитал лишь 1 человек (7 %), слово *брат* – 93 %. Что касается *жизнь–пришёл*, где в наличии есть твёрдые шипящие согласные и мягкий знак, то правильный вариант прочтения лексемы *пришёл* показали 100 % студентов, в то время как единицу *жизнь* правильно прочли 47 %. Все студенты справились с прочтением пары *дом – дома*.

Анализ морфологического уровня языка выявил сложности в выборе правильных падежных окончаний. С предложением *Я иду к (друг)* справились 53 % студентов, *Мы учимся в (университет)* – 80 %. Что касается согласованных определений, то в словосочетании (*красивый*) *женщина* нужное окончание написали 10 человек или 66 %, не справились с заданием 5 человек или 34 %. В словосочетании (*жаркий*) *лето* было только 53 % верных ответов. Следует отметить, что средний род всегда сложнее для понимания.

При анализе лексического уровня языка, где предлагалось выбрать подходящий глагол и поставить его в личную форму, можно констатировать, что 86 % студентов правильно выбрали глагол, но из этих 86 % правильно проспрягали лишь 61 %. (*В лесу мы _____ много грибов. Она _____ много вещей в примерочную*).

В паре *идти–ходить* 66 % правильно выбрали глагол и поставили в нужную личную форму, 34 % студентов с заданием не справились. (*Вчера я _____ в кино. Сейчас я _____ в библиотеку*).

В задании, где нужно заменить слова антонимами (*трудный экзамен – ... экзамен, большой дом – ... дом*) обнаружилось неожиданное трудности: 13 % студентов сделали задание неправильно – прилагательное *трудный* один раз заменили на *сложный*, а *большой дом* заменили на *маленький дач???*. 87 % студентов выполнили всё верно.

Для анализа синтаксического уровня языка студентам было предложено составить предложения из слов, учитывая падежные окончания. Например, предложение *Студент, интересный, книга, читать* верно составили 53 %, 47 % студентов не справились с заданием. Причём стоит отметить, что даже если правильно согласовано, то нарушен порядок построения предложения, что вызвано различием порядка слов в предложении в сравниваемых языках.

Сложным оказалось и задание на исправление синтаксических ошибок, связанных с управлением. Предложение *Мы обсуждали планы* написали правильно 46 % студентов, *Он ехал в Минск* – 40 %.

Таким образом, в русском и туркменском языках наблюдаются значительные различия на всех 4 языковых уровнях. Специфика обоих языков обусловлена разным происхождением, а также фундаментальными различиями в структуре: туркменский язык использует агглютинацию и сингармонизм гласных, а русский язык является флективным с развитой системой окончаний и родов. Данные языковые различия вызывают сложности у туркменских студентов при изучении русского языка. В результате проведенного лингвистического эксперимента установлено, что ошибки допущены в заданиях на всех 4 уровнях языка.

Библиографические ссылки

1. Ильясова Г. К., Амансарыева Дж. Дж. Сравнительный анализ между русским и туркменскими языками: особенности и сходства / Международный научный журнал «Инновационная наука» 2024. № 3–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-mezhdu-russkim-i-turkmenskimi-yazykami-osobennosti-i-shodstva/viewer> (дата обращения: 27.01.2026).

2. Байджанов Б. Туркменский язык (учебное пособие по практическому курсу) // Туркменский национальный институт мировых языков имени Долетмаммеда Азади. Ашхабат, 2008. 158 с.

3. Сапарова Дж. А., Балканова С. Г., Чарыева А. Н. Типологические особенности русского и туркменского языков // Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия : сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции. Уфа, 2022. С. 75–85.

4. Дымова Е. А. Интерференция в процессе овладения русским языком туркменоязычными студентами // Материалы XX Международной научно-практической конференции. Минск, 2019. С. 236–239.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И МЕНЕДЖМЕНТ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<i>Acar Y., Kaçan K., Olgun B., Özdemir*^{ID} N.</i> Seasonal investigation of freshwater resources flowing into gökova bay (mugla-turkey).....	5
<i>Башаричев А. В., Голиков В. А., Окунев И. С., Сиротюк В. Я., Иванов В. А.</i> Применение технологии парового риформинга при переработке отходов различного класса опасности, в том числе при реабилитации загрязнённых поверхностей.....	8
<i>Бодяков К. В., Иванюкович В. А., Кот Е. В., Тавгень И. А., Шилов М. Д.</i> Android-приложение для расчёта нутритивной поддержки пациентов.....	13
<i>Бучукова Е. В., Иванюкович В. А., Скопец К. М., Тавгень И. А.</i> Программное сопровождение медицинских осмотров летного отряда.....	18
<i>Головатый С. Е., Савченко С. В., Зеленуха В. В., Кузьменкова М. Ф.</i> Научно-методические подходы к эколого-геохимической оценке пойменных почв	22
<i>Давидовский Я. В., Лён Е. С.</i> Мицелиевые упаковочные материалы как альтернатива полимерным материалам.....	29
<i>Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С.</i> Динамика валовых форм металлов в породных отвалах Донбасса.....	34
<i>Емельяненко Н. В., Родькин О. И.</i> Оценка агрофизических показателей осадков сточных вод.....	37
<i>Ересько М. А.</i> Оценка устойчивости почв как неотъемлемая часть локального мониторинга окружающей среды.....	41
<i>Журавков В. В., Цыбулько Н. Н., Журавков Е. В., Кузьменко Д. Ю.</i> Инновационные информационные технологии при оценке дозовых нагрузок на биоту от цезия-137 на примере гомельской области.....	46
<i>Иванюкович В. А., Маковецкая А. И., Мельнов С. Б.</i> Прогноз роста детей при достижении взрослого возраста.....	50
<i>Иванюкович В. А., Минаева Е. А., Рубан А. П.</i> Мобильное приложение для оценки степени тяжести острых аллергических реакций.....	54
<i>Иванюкович В. А., Николаенко Е. А., Тавгень И. А., Яговдик А. А.</i> Система расчета углеродного следа промышленного предприятия.....	58
<i>Копиця В. Н.</i> Методы анализа воздействия инвазивных видов <i>HERACLÉUM SOSNÓWSKYI</i> и <i>SOLIDAGO CANADÉNSIS</i> на почвенный покров.....	62
<i>Кубрак Е. Д., Шалькевич П. А., Тавгень И. А.</i> Размерности моделей миграции радионуклидов в водных экосистемах.....	66

<i>Кулагина Л. В., Станькова Е. Ю., Науменко М. А.</i> Автоматизированное распознавание событий фотоловушек и формирование воспроизводимой статистики наблюдений крупных млекопитающих.....	70
<i>Лаптёнок С. А., Родькин О. И., Кологривко А. А., Малишевская Б. Э., Конопацкая М. С.</i> Оценка значимости влияния некоторых геоэкологических факторов на состояние здоровья населения методами анализа корреляции сопряженных признаков.....	75
<i>Лаптёнок С. А., Родькин О. И., Кологривко А. А., Федоренчик Е. В., Кляусова Ю. В., Тавгень Т. А.</i> Комплексное непрерывное пространственное моделирование эколого-эпидемических процессов	81
<i>Лаптёнок С. А., Родькин О. И., Тавгень И. А., Кологривко А. А., Борботко Е. П., Лазар И. В.</i> Системный подход к обоснованию концепции системы государственной регистрации социально значимых заболеваний с использованием пространственной компоненты.....	85
<i>Ларионова А. Е., Лён Е. С.</i> Особенности структуры и регионального применения пестицидов в Республике Беларусь	89
<i>Леонтьева К. К., Головатый С. Е.</i> Экологические аспекты использования RDF-топлива в республике Беларусь: анализ выбросов и перспективы применения.....	93
<i>Малишевская Б. Э.</i> Влияние наноструктурирования поверхности на оптические свойства кристаллов сульфида свинца PbS.....	97
<i>Мамаев А. В., Савицкая Т. А., Кимленко И. М., Гриншпан Д. Д.</i> Анализ осведомленности белорусских химических предприятий о зеленой химии и ее принципах.....	102
<i>Мукина К. М., Матусевич Я. Д.</i> Анализ реки днепр за многолетний период	106
<i>Мукина К. М., Пинчук Т. М.</i> Анализ системы менеджмента окружающей среды на ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»	111
<i>Мукина К. М., Хромченко П. А.</i> Анализ системы управления окружающей средой на ОАО «БЕЛСОЛОД»	116
<i>Николаенко Е. А., Шалькевич П. К.</i> Физико-информированные нейронные сети в задачах моделирования миграции загрязняющих веществ в природных дисперсных средах.....	121
<i>Rodzkin A. I., Zelianukha A. V.</i> Eco-efficiency of using composite biofuel	125
<i>Родькин О. И., Полоз И. И.</i> Вклад полигонов твердых коммунальных отходов в эмиссию парниковых газов	129
<i>Рябычин К. О.</i> Экологические последствия использования пенополистирольных плит для утепления зданий	134
<i>Савастенко Н. А., Люшкевич В. А., Филатова И. И., Шимбалева М. П., Маскевич С. А.</i> Влияние плазменной обработки на фотокаталитическую активность и адсорбционные свойства природного цеолита по отношению к органическим примесям в водных средах	138
<i>Савастенко Н. А., Люшкевич В. А., Филатова И. И., Шимбалева М. П., Маскевич С. А.</i> Сравнительный анализ кинетики адсорбции органических красителей и кофеина на цеолите и оксиде алюминия (Al ₂ O ₃)	143

<i>Садовская Э. И., Головатый С. Е., Савченко С. В., Зеленухо В. В., Кузьмич К. М.</i> Экологическая оценка почвенного покрова города Солигорска	148
<i>Симонова И. Н., Гордеев М. С.</i> Гигиеническая оценка аэроионного состава воздуха в учебных помещениях.....	152
<i>Скуратович И. В., Зеленухо Е. В.</i> Оценка потенциала использования отходов производства в качестве компонентов мелиорантов	156
<i>Toraman M., Döndü M., Keskin F., Demirak A.</i> The effect of climate change on the mobility of manganese (Mn) and arsenic (As) in sediment: the case of boğaziçi lake (MUĞLA, TÜRKİYE)	160
<i>Улащик Е. А., Курлович В. А.</i> Анализ деградации почв в Республике Беларусь.....	163
<i>Улащик Е. А., Кухаренко У. И.</i> Влияние твердых коммунальных отходов на окружающую среду и здоровье населения.....	168
<i>Улащик Е. А., Ходикова Д. В.</i> Сточные воды молочной отрасли Республики Беларусь.....	172
<i>Улащик Е. А., Шеколян В. В.</i> Проблема образования микропластика и пути ее решения	176
<i>Хох А. Н.</i> Оценка некоторых анатомических параметров листовой пластинки <i>TILIA CORDATA MILL.</i> В условиях урбосистем Минска.....	180
<i>Хох А. Н.</i> Возможность использования гиперспектральных индексов для оценки климатического отклика в древесно-кольцевых хронологиях.....	184
<i>Цвикиевич С. А., Мукина К. М.</i> Анализ средних и характерных гидрологических показателей реки Припять за многолетний период.....	188
<i>Qu X., Zhyltsova Yu. V.</i> Sustainable development of urban areas in china (ON THE EXAMPLE OF XI'AN CITY).....	193
<i>Шалькевич П. К.</i> Феноменологические модели миграции загрязняющих веществ в почвенной, водной и воздушной средах	198
<i>Юницкий А. Э., Першай Н. С., Литвинчук А. А., Арнаут С. А.</i> Повышение плодородия почв в аридных условиях путем комплексного применения влагоудерживающих полимеров и органических удобрений.....	203

Секция 5. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ И УРБОЭКОЛОГИИ

<i>Буткевич Ю. И.</i> Язык как инструмент урбоэкологии: формирование эколого–экономического сознания студентов	207
<i>Бутрим Т. В.</i> Позитивность как фактор экологической угрозы в философии общества достижения Б. Ч. Хана.....	212
<i>Голубев С. Г., Пупликов С. И., Цзин Цзин Ф., Юмэнь Ч.</i> Экологический бизнес как ключевой приоритет циркулярной экономики (на примере КНР и Республики Беларусь)	216

<i>Казимирская Е. Н., Лихачева А. В.</i> Социально-экономические аспекты повторного использования мелкодисперсных железосодержащих отходов.....	220
<i>Кириченко Л. А., Волчек А. А.</i> Способ реабилитации экологического состояния водных объектов урбанизированных территорий.....	224
<i>Киселевский О. С.</i> Значение социодизайна в формировании экологической ответственности	229
<i>Курбатова А. И., Князева Е. А.</i> Влияние изменения климата на жизнеобеспечивающие ресурсы городской среды.....	234
<i>Лях Ю. Г.</i> Биолого-экологическое значение инвазивных растений в сохранении видового разнообразия беларуси (на примере эхиноцистиса лопастного (<i>ECHINOCYSTIS LOBATA</i>)).....	240
<i>Лях Ю. Г., Мелюх О. В., Некрасова Т. В., Климашевский В. Ю.</i> Влияние сельскохозяйственного растениеводства на сохранение и рост популяций охотничьих зверей и птиц в Беларуси.....	245
<i>Нилова О. В., Салыева Б.</i> Биоморфологический анализ дендрофлоры города дашогуз (Северный Туркменистан).....	249
<i>Онищук О. Н., Круталевич М. М., Бельчина К. С., Гадуцевич В. С., Сыманович П. Г., Овсянкин В. А., Гришанович Н. А.</i> Физическая нагрузка как средство снижения стресса: мнение студентов	253
<i>Поливкина Ю. А., Гаврилов В. И.</i> Разработка и педагогический потенциал интерактивной карты «НЕВИДИМЫЕ ГЕРОИ»	257
<i>Сидоренко Ю. В.</i> Мелкозернистые бетоны с применением регионального техногенного сырья.....	261
<i>Суходолец Е. В.</i> Роль человеческого капитала в обеспечении устойчивого развития объектов общественного питания в урбоэкологической среде	265
<i>Сыманович П. Г., Босько Д. А., Круталевич М. М., Онищук О. Н., Аксенчик С. В.</i> Методические особенности физической культуры жителей загрязнённой территории после катастрофы на Чернобыльской АЭС	271
<i>Сыманович П. Г., Таурогинская В. В., Круталевич М. М., Жак А. Д., Горбачева О. К.</i> Анализ предпочтений жителей трех районов Минска при самостоятельных занятиях физической активностью	276
<i>Федосеев О. Н., Кондаков Р. Ю.</i> Определение стоимости компенсационных мероприятий по эмиссии CO ₂ на автодорогах г. Пензы	280
<i>Хурнова Л. М., Гарбузова А. А.</i> Комбинированный метод оценки психоэмоционального состояния студентов.....	287

Круглый стол 1. АКТУАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI-ГО ВЕКА

<i>Крстич Б., Родькин О. И., Станкович Д., Никчевич М., Крстич Дж.</i> Как правильно писать научные статьи по экологической тематике: мотивация, подготовка и публикация	292
--	-----

Родькин О. И., Морзак Г. И., Сырникова К. А. Перспективы производства возобновляемого топлива из твердых промышленных и коммунальных отходов 298

**Круглый стол 2. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ
СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ
К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ И МЕЖДУНАРОДНОЙ КОММУНИКАЦИИ**

<i>Беляева Т. В., Буткевич Ю. И., Третьяк Г. В.</i> Интегрированное предметно-языковое обучение в поликультурном вузе: синхронизация содержания курсов русского и английского языков	302
<i>Бондаренко М. М., Викторко Л. В., Филиппович М. О.</i> Особенности развития экологического сознания в процессе подготовки к поступлению на специальности медико-биологического профиля	307
<i>Даўгулевiч Н. М.</i> Выкарыстанне неаграфiчных выданняў ў параўнальным аналізе моўных працэсаў беларускай мовы пэўных перыядаў часу	312
<i>Левданская Н. М., Беляева Т. В., Никитина Л. Н.</i> Особенности обучения иностранному языку в разноуровневой группе при подготовке к профессиональной межкультурной коммуникации	317
<i>Орлова М. В., Качан И. М., Тюрдеева А. И.</i> Развитие разговорных навыков студентов посредством диалоговых систем на основе генеративного искусственного интеллекта (ChatGPT)	322
<i>Талецкая Н. Н., Грицай Н. А.</i> К проблеме искусственного интеллекта в образовании	326
<i>Устименко Е. Г., Кистрина Л. А., Мишкин И. Ф.</i> Трудности в изучении русского языка у туркменских студентов	330

На первой стороне обложки – иллюстрация «Астролог» из второго тома трактата Роберта Флудда
«О космическом двуединстве» (Франкфурт, 1619 г.)

Научное издание

**САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2026:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

**SAKHAROV READINGS – 2026:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS
OF THE XXI CENTURY**

**Материалы
26-й Международной научной конференции**

Республика Беларусь, Минск

21–22 мая 2026 г.

В двух частях

Часть 2

На русском и английском языках

В авторской редакции

Ответственные за выпуск *Н. Н. Цыбулько, Т. П. Верёвка-Зинович*

Компьютерная верстка *О. С. Яворской*

Подписано в печать 30.04.2026. Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 39,53. Уч.-изд. л. 33,32.

Тираж 50 экз. Заказ .

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.

Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014.

Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.