

Министерство образования Республики Беларусь

Министерство природных ресурсов
и охраны окружающей среды Республики Беларусь

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



САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2022 ГОДА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА

SAKHAROV READINGS 2022: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY

**Материалы 22-й Международной научной
конференции**

19–20 мая 2022 г.
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях
Часть 2

Минск
МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
2022

УДК 504.75(043)
ББК 20.18
С22

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

Редколлегия:

Батян А. Н., доктор медицинских наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Бученков И. Э., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Вережка-Зинович Т.П., МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Головатый С. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Голубев А. П., доктор биологических наук, профессор, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Довгулевич Н. Н., кандидат филологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Журавков В. В., кандидат биологических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Зафранская М. М., доктор медицинских наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Киевицкая А. И., кандидат технических наук, доктор физико-математических наук, доцент МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Пашинский В. А., кандидат технических наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Петренко С. В., кандидат медицинских наук, доцент, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Попов Б. И., кандидат технических наук, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ;
Пухтеева И. В., МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

Под общей редакцией:

доктора физико-математических наук, профессора *С. А. Маскевича*,
кандидата технических наук, доцента *М. Г. Герменчук*

Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2022 : environmental problems of the XXI century : материалы 22-й Международной научной конференции, 19–20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батян [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – 346 с.
ISBN 978-985-880-235-6

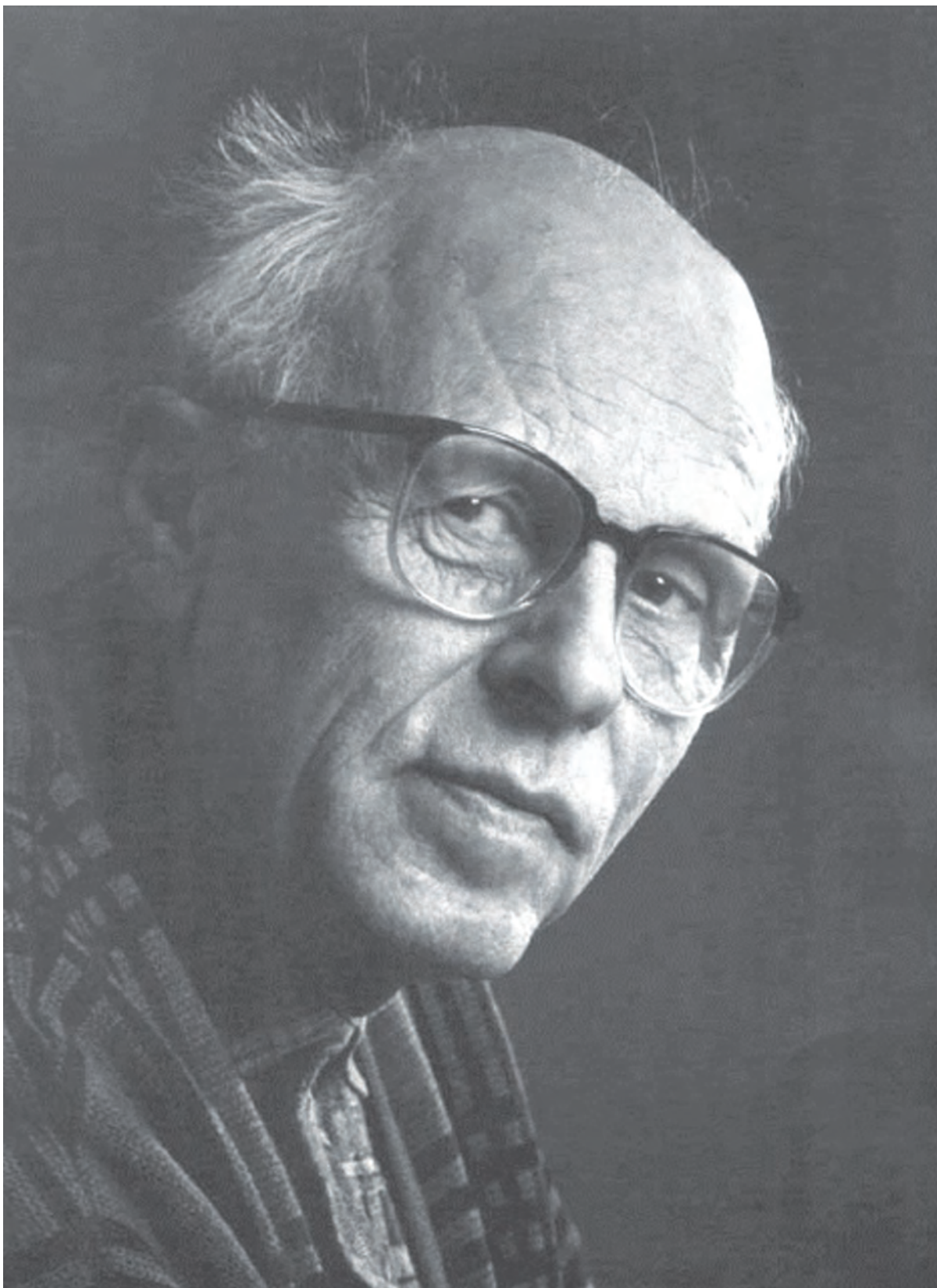
В сборник включены тезисы докладов по вопросам философии, социально-экономическим и биоэтическим проблемам современности, образованию в интересах устойчивого развития, а также по медицинской экологии и биоэкологии. Рассматриваются аспекты радиобиологии, радиоэкологии и радиационной безопасности, информационных систем и технологий в экологии и здравоохранении, решения региональных экологических задач. Уделено внимание экологическому мониторингу и менеджменту, возобновляемым источникам энергии и энергосбережению.

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

УДК: 504.75(043)
ББК 20.18

ISBN (ч. 2) 978-985-880-235-6
ISBN (общ.) 978-985-880-237-0

© МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2022



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



Уважаемые читатели!

Настоящий сборник содержит тезисы докладов участников 22-й Международной конференции «Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века». Каждый год «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета в 3-й декаде мая проводит эту конференцию, которая является, что крайне важно подчеркнуть, не только национальным, но и интернациональным форумом для обсуждения злободневных экологических проблем не только Республики Беларусь, но и стран как ближнего, так и дальнего зарубежья. Действительно, при тех глобальных экологических угрозах, которые характеризуют условия существования современного человеческого сообщества, для противодействия этим угрозам жизненно необходима кооперация всех заинтересованных

ученых и экспертов. В конференции 2022 г. приняли участие, кроме отечественных авторов, докладчики из Италии, Казахстана, Молдовы, России, Таджикистана, Туркменистана, Турции, Узбекистана, Украины.

Как и в прошлые годы, программа конференции содержала обширный спектр актуальных экологических проблем в областях совершенствования системы экологического образования в интересах устойчивого развития; биоэкологии и радиобиологии; медицинской экологии в условиях пандемии COVID-19; реабилитации экосистем и экологического мониторинга; ядерной и радиационной безопасности; промышленной экологии и обращения с отходами, энергоэффективных технологий и энергетического менеджмента; развития информационных систем и технологий для оценки и управления качеством окружающей среды.

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

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

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

С.А. Маскевич

**МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ
В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19**

**ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ КУЛЬТУР КЛЕТОК
НА ПРИСУТСТВИЕ В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ЦИТОКИНОВ
STUDYING THE RESPONSE OF CELL CULTURES
TO THE PRESENCE OF CYTOKINES IN THE NUTRITIONAL MEDIUM**

**Э. М. Плотникова, И. А. Нестерова, Р. Н. Низамов
E. M. Plotnikova, I. A. Nesterova, R. N. Nizamov**

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»,
420075, г. Казань, Россия, Научный городок-2
vnivi@mail.ru

*Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Nauchnyi Gorodok-2,
Kazan city, 420075, Russia*

В настоящее время в медицине и ветеринарии нашли широкое применение иммуномодуляторы нового поколения – цитокины. Цитокины активны в очень малых концентрациях, они регулируют пролиферацию и дифференцировку клеток иммунной системы. Учитывая на высокую биологическую активность для клеток животного, растительного и микробного происхождения *in vivo* и *in vitro*, были проведены исследования, целью которых было изучение возможности использования цитокинов в качестве активаторов метаболизма культур клеток животных *in vitro* для репродукции на них вирусов. В опытах использовали культуры клеток MDBK и ВНК-21/13-02, полученные из коллекции культур клеток ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». Для выращивания культур клеток использовали питательные среды: Игла MEM, раствор Версена, трипсина, Хэнкса, сыворотки крови крупного рогатого скота (СКРС), сыворотки крови плодов (СКПК). В качестве активаторов метаболизма клеток использовали коммерческие цитокины: IL-3, IL-6, колоностимулирующий фактор – G-CSF производства ООО «Цитокин» (Санкт-Петербург). Экспериментальным путем определяли стимулирующие и ингибирующие дозы цитокинов и добавляли в среды с культурами клеток из расчета 30 до 500 пг/см³. Установлено, что из испытанных классов цитокинов наиболее активным оказался интерлейкин – 6 (IL-6), которой при внесении в ростовую среду в концентрации 30–60 нг/см³ оказывал метаболизмстимулирующий эффект, обеспечивая индекс пролиферации клеток линии MDBK в 1,33 раза и линии клеток ВНК-21/13-02 – в 1,17 раза соответственно.

Currently, a new generation of immunomodulators, cytokines, are widely used in medicine and veterinary medicine. Cytokines are active in very low concentrations, they regulate the proliferation and differentiation of cells of the immune system. Taking into account the high biological activity for cells of animal, plant and microbial origin *in vivo* and *in vitro*, we conducted the present studies, the purpose of which was to study the possibility of using cytokines as activators of the metabolism of animal cell cultures *in vitro* for the reproduction of viruses on them. In the experiments, cell cultures MDBK and BHK-21/13-02 obtained from the collection of cell cultures of the Federal State Budget Scientific Institution FSBSI «FCTRBS-ARRVI» were used. Nutrient media were used for growing cell cultures: Needle MEM, solution of Versen, trypsin, Hanks, bovine blood serum (BRS), fetal blood serum (FBMS). As activators of cell metabolism, commercial cytokines were used: IL-3, IL-6, colon-stimulating factor G-CSF produced by Cytokin LLC (St. Petersburg). Stimulating and inhibitory doses of cytokines were experimentally determined and added to media with cell cultures at the rate of 30 to 500 pg/cm³. It was found that among the tested classes of cytokines, interleukin-6 (IL-6) turned out to be the most active, which, when introduced into the growth medium at a concentration of 30-60 ng/cm³, had a metabolism-stimulating effect, providing a proliferation index of MDBK cells by 1.33 times and cell lines VNK-21/13-02 – 1.17 times, respectively.

Ключевые слова: культура клеток, цитокины, антигены, гомогенность, конфлюэнтный монослой.

Keywords: cell culture, cytokines, antigens, homogeneity, confluent monolayer.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-7-10>

Введение. К системе цитокинов в настоящее время относят около 200 индивидуальных полипептидных веществ [2, 9]. Все они имеют ряд общих биохимических и функциональных характеристик, среди которых важнейшими считаются следующие: плейотропность и взаимозаменяемость биологического действия, отсутствие антигенной специфичности, проведение сигнала путем взаимодействия со специфическими клеточными рецепторами, формирование цитокиновой сети [3,7]. Учитывая, что для длительного культивирования клеток крови и стволовых клеток костного мозга необходим ряд клеточных факторов, включающих цитокины (SCF, IL-3, IL-6, G-CSF) [9], использование полимеров (поли-(И), поли-(С) и ДЭАЭ-декстрана), являющихся индукторами цитокинов и интерферона [5], позволили бы достичь значительных успехов в биотехнологии, клеточной и генной инженерии.

Известно, что в настоящее время эффективными, стимулирующими рост средствами являются, например, рекомбинантные цитокины (интерлейкины, эритропоэтин, колониестимулирующие факторы), производные

гликозаминогликанов (D-глюкуроновая кислота, N-ацетилнейраминовая кислота, глицерин), эпидермальный фактор роста, гепаринсвязывающие факторы роста и многие другие [6].

Цитокины оказывают влияние практически на все клетки, воздействуя на большинство процессов, протекающих в организме [1, 8].

Первые методы по обнаружению цитокинов были связаны с определением их активности, культивированием иммунокомпетентных клеток и клеточных линий.

Использование цитокинов имеет ряд преимуществ перед другими препаратами (вакцины, сыворотки): во-первых, небольшие дозы цитокинов индуцируют интенсивный иммунный ответ и запускают синтез собственных медиаторов; во-вторых, многие цитокины обладают полифункциональностью (например, интерферон – ИНФ), оказывая противовирусное, антибактериальное, противоопухолевое действие, в-третьих, применение цитокинов может сочетаться с другими медиаторами, вакцинами, антибиотиками, сыворотками и т.д. [4]. Согласно данным ряда исследователей, цитокины представляют собой регуляторные пептиды, которые продуцируются почти всеми кариотическими клетками.

Поэтому есть основание предположить, что цитокины могут быть использованы в качестве ростстимулирующего фактора при культивировании клеток животных в искусственных условиях (*in vitro*) для репродукции вирусов при изготовлении вакцинных препаратов.

Однако эти исследования единичны и поэтому не дают полного представления о роли цитокинов в клеточной биотехнологии.

С учетом актуальности проблемы, проводили настоящие исследования, целью которых было изучение возможности использования цитокинов в качестве активаторов метаболизма культур клеток животных *in vitro* для репродукции на них вирусов.

Материалы и методы исследований. В исследованиях использовали питательные среды: Игла МЕМ, раствор Версена, трипсина, Хэнкса, сыворотку крови крупного рогатого скота (СККРС), сыворотку крови плодов коровы (СКПК). Культуры клеток пересеивали с коэффициентом пассирования 1:2-1:3. В качестве паспортизированных клеточных культур использовали 2 линии перевиваемых клеток: MDBK, БНК 21/13-02, полученные из коллекции культур клеток ФГБНУ «ФИЦРБ-ВНИВИ». Рабочие растворы цитокинов готовили согласно патенту РФ [4].

Результаты исследований. Влияние цитокинов на культуры клеток изучали методом их совместного культивирования после 24-часового культивирования, клеточный монослой исследовали с помощью инвертированного микроскопа (Nikon Eclipse TS 100) по следующим параметрам: процент покрытия поверхности, форма клеток, количество клеточных агрегатов.

Результаты оценки влияния испытуемых цитокинов на культуры клеток представлены на рисунке 1.

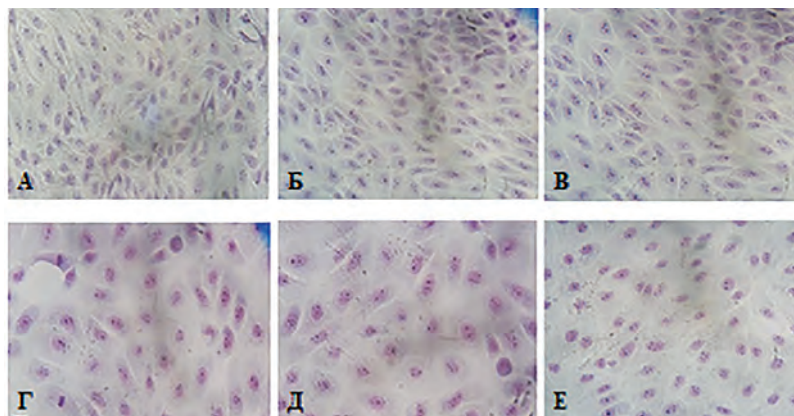


Рисунок 1 – культуры клеток: БНК-21-13/02 – А – контроль, Б – IL-6, В – G-CSF; MDBK – Г – контроль, Д – IL-6, Е – G-CSF; (об. 10×, ок. 7×, окраска по Романскому-Гимза)

Из представленных на рисунке данных видно, что клетки, выращенные в цитокинсодержащей среде, имели форму, характерную для данного вида клеток с четко выраженными границами, без признаков дегенерации и морфологически не отличались от клеток, выращенных в контрольной среде. Монослой состоял из эпителиоподобных, плотно прилегающих друг к другу клеток, пролонгированной формы без зернистости цитоплазмы.

Клетки при пересеве с коэффициентом 1:2-1:3 формировали конfluэнтный монослой на 3-4 сут культивирования.

Клетки, выращенные в экспериментальной ростовой среде, имели эпителиоподобную форму, характерную для изучаемого вида клеток животных.

Результаты влияния цитокинов на морфологию перевиваемых культур клеток БНК-21/13-02 MDBK представлены на рисунке 2.

В контроле (А, Б) просматривается целостный монослой клеток.

Также наблюдается морфологическая гомогенность монослоя. Плазматическая мембрана, ограничивающая клетку, имеет четкие выраженные границы.

При воздействии IL-6 в концентрации 60 пг/см³ (В, Г) наблюдалось улучшение качества монослоя. Плазматическая мембрана имела более четкие границы, плотный однородный монослой. На рисунке 2 (Д, Е) в монослой

клеток при воздействии происходят поверхностные изменения клеточной морфологии, отсутствует выраженный клеточный монослой, слабо выражена плазматическая мембрана, что указывает на ослабление динамических процессов эффективного прикрепления, распластывания, пролиферации и дифференцировки.

При увеличении дозы ИЛ-6 до 500 пг/см³ (Ж, З) наблюдается большое количество клеток, которые имеют измененную форму, что свидетельствует о подавлении процесса деления и увеличении количества гибнущих клеток.

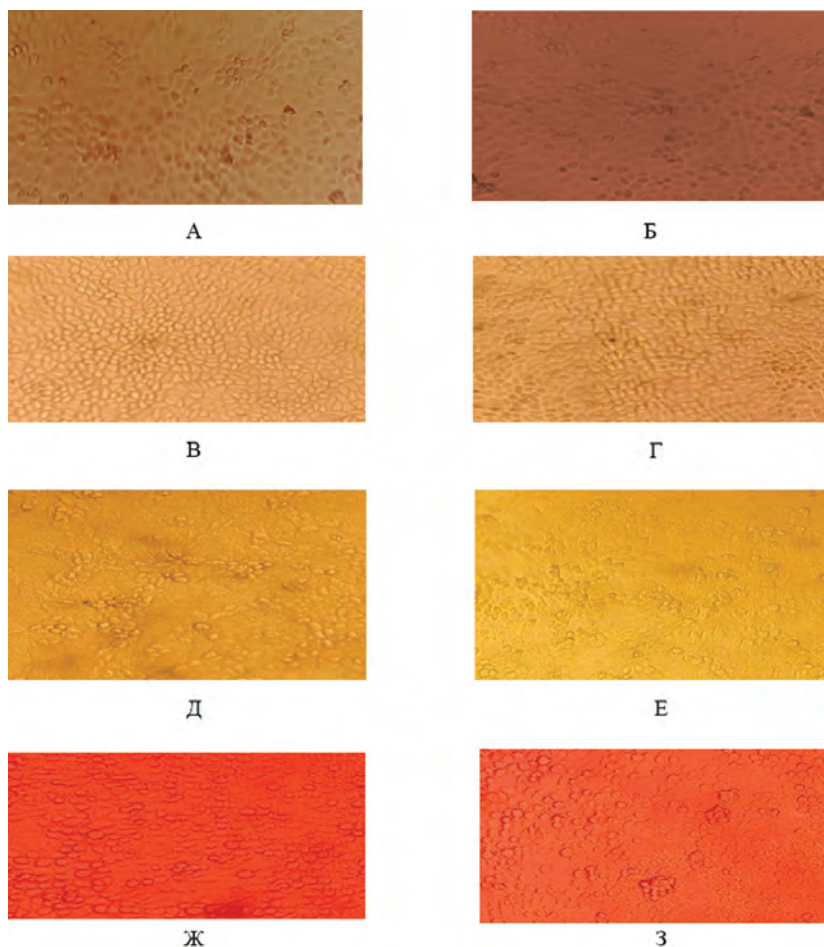


Рисунок 2 – Культуры клеток ВНК-21/13-02 и MDBK, выращенные в цитокинсодержащей среде: А, Б – контроль; В, Г – 60 пг/см³ ИЛ-6; Д, Е – 250 пг/см³ ИЛ-6; Ж, З – 500 пг/см³ ИЛ-6 (об. 10×, ок. 7×)

Результаты окрашивания акридиновым оранжевым монослоя культур клеток ВНК-21/13-02 и MDBK, выращенных в цитокинсодержащей среде (60 пг/см³), представлены на рисунке 3.

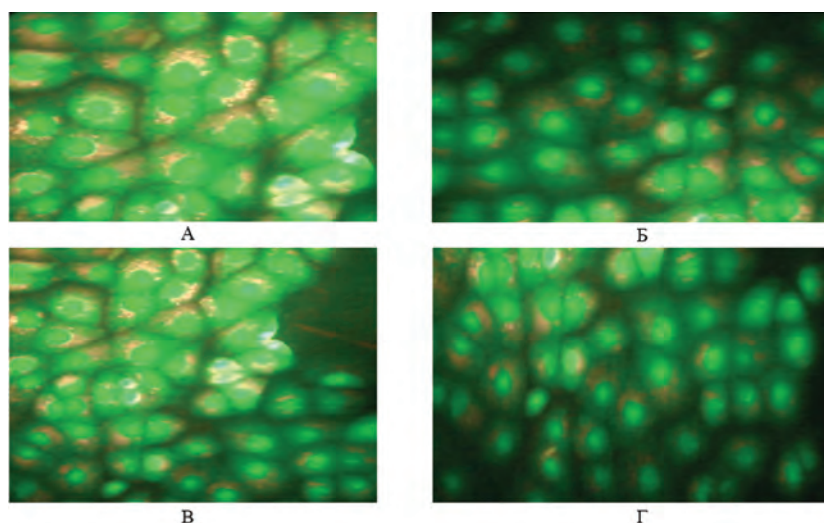


Рисунок 3 – Люминесцентная микроскопия. Окраска акридиновым оранжевым: А – перевиваемая линия клеток MDBK (контроль); Б – перевиваемая линия клеток MDBK (цитокинстимулированная); В – перевиваемая линия клеток ВНК-21/13-02 (контроль); Г – перевиваемая линия клеток ВНК-21/13-02 (цитокинстимулированная) – ок.10, ×об.

При люминесцентной микроскопии препаратов культур клеток MDBK и ВНК-21/13-02 отмечается интенсивная люминесценция молекулярных компонентов. Зеленое свечение в большой степени излучает окрашенная флуорохромом ДНК, а оранжево-красное свечение – РНК. На рисунке 3 (А, Б) в экспериментальных образцах клеточного монослоя, окрашенного акридиновым оранжевым, мертвых клеток не выявлено.

Ядра в клетках, выращенных в средах с добавлением цитокинов, имеют ровные контуры, клетки с кариорексисом и кариопикнозом отсутствуют. Клетки с 2 и более ядрами в экспериментальном монослое не выявлены, что свидетельствует о нормальном митозе клеток.

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что оптимальная метаболизмстимулирующая концентрация IL-6 – 30-60 пг/см³, обеспечивающая стимуляцию метаболизма клеток линии MDBK и ВНК – 21/13 – 02 с индексом пролиферации клеток в 1,33 раза и 1,17 раза соответственно по сравнению с контролем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ада Г. Вакцины, вакцинация и иммунный ответ / Г. Ада, А. Рамсей: пер. с англ. – М.: Медицина, 2002. – 344 с.
2. Бельмер С. В. Значение цитокинов в патогенезе воспалительных заболеваний толстой кишки у детей / С.В. Бельмер, А.С. Симбирцев, О.В. Головенко // РМЖ. – 2003. – Т. 11. – № 3. – С. 17-22.
3. Патент RU 2715336 Класс МПК: C12N 5/00 Способ стимуляции метаболизма культур клеток MDBK для репродукции вирусов /Плотникова Э.М., Архарова И.А., Низамов Р.Н., Матвеева Е.Л. - № 2019112375; заявлено 23.04.2019; Бюл. № 6. Оpubл. 26.02.2020.
4. Самуйленко А.Я. Научные основы производства и обеспечения качества биологических препаратов для АПК /А.Я. Самуйленко, В.М. Попова, И.Н. Матвеева, Л.А. Скороходова // Материалы международной научно-практической конференции. «Современные методы фильтрации в биотехнологии», 5 - 7 декабря, 2012. – Щелково, 2012. – 23 с.
5. Kim S.H. Interleukin-32: a cytokine and inducer of TNF - alpha / S.H. Kim, S.Y. Han, T. Azam et al. // Immunity. – 2005. – Vol. 22. – № 1. – P. 131-142.

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ГИДРОЛИЗАТОВ СЫВОРОТКИ МОЛОКА И МОЛОЗИВА С γ -ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF WHEY AND COLOSTRUM HYDROLYZATES COMPLEXES WITH γ -CYCLODEXTRIN

**Е. И. Тарун^{1,2}, П. А. Виноградов^{1,2}, Д. А. Карабун^{1,2}, Т. Н. Головач², Р. В. Романович²
Е. I. Tarun^{1,2}, P. A. Vinogradov^{1,2}, D. A. Karabun^{1,2}, T. M. Halavach², R. V. Romanovich²**

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
kfl@iseu.by, ktarun@tut.by

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

¹International Sakharov Environmental Institute of BSU, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности концентрата сывороточного белка молока, нативного молозива, их ультрафильтрованных гидролизатов, а также комплексов ультрафильтратов гидролизатов с γ -циклодекстрином. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации всех образцов, из которых графически определены показатели IC₅₀, которые находились в пределах 7,2–103,4 мкг/мл. Комплексы ультрафильтратов гидролизатов с γ -циклодекстрином восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 88–96 % при концентрации образцов 0,68–0,75 мг/мл.

The comparative study of the antioxidant activity of whey protein concentrate, native colostrum, their ultrafiltered hydrolysates, as well as complexes of ultrafiltered hydrolysates with γ -cyclodextrin was carried out. The dependences of the fluorescence intensity of fluorescein on the logarithm of the concentration of all samples were obtained, from which the IC₅₀ values were graphically determined, which were in the range of 7,2–103,4 μ g/ml. Complexes of ultrafiltrate hydrolysates with γ -cyclodextrin restored fluorescein fluorescence to 88–96 % at a sample concentration of 0,68–0,75 mg/ml.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, нативное молозиво, гидролизованное молозиво, гидролизат молока, циклодекстрин, флуоресцеин.

Keywords: antioxidant activity, native colostrum, hydrolyzed colostrum, whey hydrolyzate, cyclodextrin, fluorescein.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-10-14>

Коровье молоко, сыр и кисломолочные продукты являются доступными источниками биологически активных пептидов (БАП), для которых показаны гипотензивный, иммуномодулирующий, антиоксидантный, антимикробный, антимуtagenный и др. эффекты [1]. БАП образуются в результате воздействия на белки молока пищеварительных ферментов желудочно-кишечного тракта, при технологической обработке очищенными протеазами, а также ферментации молочнокислыми бактериями [2]. После ферментативного гидролиза основных белков-аллергенов молока (β -лактоглобулин, казеин) образуются гипоаллергенные пептиды, что связано с расщеплением участков антигенных детерминант в соответствующих белках [3]. Использование различных протеолитических ферментов и пробиотических микроорганизмов обеспечивает получение гидролизированных и ферментированных белков молока со специфическим белково-пептидным профилем и характерными биологически активными свойствами [4]. [4]. Циклодекстрины (ЦД) представляют собой полимер-гомологический ряд, общая формула – $(C_6H_{10}O_5)_n$. Общим для всех ЦД является наличие циклодекстринового макроцикла. Его структурная единица – это α -D-глюкоза в пиранозной форме, в состав которой входит 3 гидроксильных группы, две из которых находятся внутри кольца и одна – снаружи. β -циклодекстрин содержит 7 остатков глюкозы. Соответственно 7 гидроксильных групп, находящихся на поверхности этого циклического соединения могут служить ловушками свободных радикалов. Использование ЦД в медицине направлено на повышение качества лекарственных препаратов. В таких комплексах наблюдается повышение стабилизации лекарственных средств, улучшение их физико-химических свойств, изменении агрегатного состояния многое другое. ЦД применяются в этом случае или для образования комплексов, или в качестве вспомогательных веществ.

Целью создания комплексов гидролизата белков молока и молозива с β -циклодекстрином являлось устранение горького вкуса гидролизата. Вместе с тем, актуальным представляется изучение влияния комплексообразования на функциональные свойства пептидов, в частности, на антиоксидантную активность гидролизированных белков молока и молозива.

Метод определения антиоксидантной активности (АОА) по отношению к активированным формам кислорода (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа (Fe^{2+}) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [5]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства. В качестве таких веществ были взяты 6 образцов: концентрат сывороточного белка молока, нативное молозиво, их ультрафильтрованные гидролизаты, а также комплексы ультрафильтратов гидролизатов с γ -циклодекстрином. В таблице 1 указано содержание сухого вещества и белка в образцах.

Таблица 1 – Перечень образцов молока и молозива

№	Название образца	Краткое название образца	Содержание белка, мг/мл	Содержание сухого вещества, мг/мл
1	Концентрат сывороточного белка молока	КСБ	35,1	50,8
2	Нативное молозиво	М	31,5	48,5
3	Ультрафильтрат гидролизата сывороточного белка молока	ГСБ–УФ	13,7	23,4
4	Ультрафильтрат гидролизата молозива	ГМ–УФ	9,7	22,7
5	Комплекс ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с циклодекстрином	ГСБ–ЦД	13,7	75,2
6	Комплекс ультрафильтрата гидролизата молозива с циклодекстрином	ГМ–ЦД	9,7	68,0

В работе использовали концентрат сывороточного белка молока и сухое молозиво (образцы предоставлены ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Россия). Ультрафильтрат гидролизата сывороточного белка молока и молозива получен в НИЛ прикладных проблем биологии (БГУ) с применением протеолитического фермента алкалазы.

Получение ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока и гидролизата молозива:

Готовили 10 % растворы гидролизатов в дистиллированной воде, центрифугировали для осаждения нерасстворимых частиц при 6000 g и температуре 4 °C в течение 30 мин. Полученные супернатанты фракционировали с применением фильтров Spin-X UF Concentrator 20 (Corning, Англия) с разделяющей способностью 10 кДа. Ультрафильтраты гидролизованного и ферментированного молозива представлены фракцией с молекулярной

массой (mg), меньшей или равной 10 кДа. Содержание общего азота в экспериментальных образцах определяли по СТБ ISO 8968–1–2008, массовую долю (м.д.) сухого вещества – по ГОСТ 3626–76 (п. 3).

Приготовление комплексов ультрафильтратов гидролизатов с циклодекстринами:

Ультрафильтраты гидролизатов брали в пропорции с циклодекстрином 5%:3%. К 0,1 г. сухой смеси добавляли 2 мл дистиллированной воды. Для получения однородной суспензии помещали стакан с комплексом гидролизатов с циклодекстринами на водяную баню при температуре 50 °С и перемешивали. Получали раствор комплексов гидролизатов с циклодекстринами с концентрацией 50 мг/мл.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации молока и молозива. В таблице 2 представлены основные показатели антиоксидантной активности: $A_{\max}$ – интенсивность флуоресценции, соответствующая максимальному ингибированию свободных радикалов, $S_{\max}$ – концентрация молозива, при которой достигается $A_{\max}$ и IC_{50} – концентрация образца, при которой достигается 50 % ингибирования свободных радикалов.

Таблица 2 – Показатели антиоксидантной активности образцов молока и молозива

№	Название образца	$A_{\max}$, %	$C_{\max}$, мг/мл	IC_{50} , мкг/мл сухого вещества	IC_{50} , мкг/мл белка
1	КСБ	71	0,508	149,7	103,4
2	М	78	0,485	94,4	61,3
3	ГСБ–УФ	83	0,234	33,1	19,4
4	ГМ–УФ	86	0,227	29,1	12,4
5	ГСБ–ЦД	88	0,752	61,8	11,3
6	ГМ–ЦД	96	0,68	50,6	7,2
7	ЦД	79	0,5	120,9	

На рисунке 1 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) концентрата сывороточного белка (КСБ) (1), ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока (ГСБ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с γ -циклодекстрином (ГСБ–ЦД) (3) и γ -циклодекстрина (ЦД) (4).

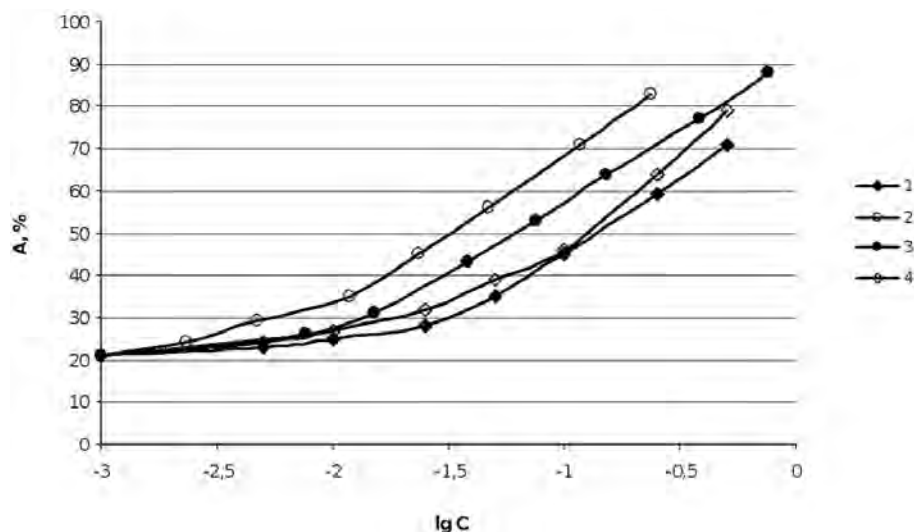


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) концентрата сывороточного белка (КСБ) (1), ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока (ГСБ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с γ -циклодекстрином (ГСБ–ЦД) (3) и γ -циклодекстрина (ЦД) (4)

Минимальная антиоксидантная активность получена для образца концентрата сывороточного белка (КСБ). Флуоресценция флуоресцеина восстанавливается до 71 % при концентрации 0,508 мг/мл. Также максимальные значения имеют и показатели IC_{50} по сухому веществу (149,7 мкг/мл) и белку (103,4 мкг/мл).

Гидролиз белков молока и их последующая ультрафильтрация приводит к уменьшению высокомолекулярной фракции белка, способствуя повышению антиоксидантной активности. Образец ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока (ГСБ–УФ) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 83 % при концентрации 0,234 мг/мл, что на 12 % выше, чем для образца КСБ. Показатели IC_{50} по сухому веществу

(33,1 мкг/мл) и по белку (19,4 мкг/мл) уменьшаются в 4,5/5,3 раза соответственно по сравнению с аналогичными показателями КСБ.

Образец комплекса ультрафильтрата гидролизата сывороточного белка молока с γ -циклодекстрином (ГСБ–ЦД) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 88 % при концентрации 0,752 мг/мл. Как видно из рисунка 1, этот образец снижает радикальную активность более эффективно, чем образец КСБ, но менее эффективен по сравнению с образцом ГСБ–УФ. Показатель IC_{50} по сухому веществу (61,8 мкг/мл) в 2,4 раза ниже аналогичного показателя для образца КСБ и в 1,9 раза выше показателя для образца ГСБ–УФ. Однако, показатель IC_{50} по белку (11,3 мкг/мл) уменьшается в 9,2 и 1,7 раза по сравнению с аналогичными показателями для образцов КСБ и ГСБ–УФ соответственно.

γ -Циклодекстрин (ЦД) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 79 % при концентрации 0,5 мг/мл, что на 9 % ниже образца ГСБ–ЦД. Показатель IC_{50} по сухому веществу (120,9 мкг/мл) в 2 раза выше аналогичного показателя для образца ГСБ–ЦД. Таким образом, включение циклодекстрина в комплекс с ультрафильтратом гидролизованного сывороточного белка молока повышает его антиоксидантную активность.

На рисунке 2 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации (С) молозива (М) (1), ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата молозива с γ -циклодекстрином (ГМ–ЦД) (3) и γ -циклодекстрина (ЦД) (4).

Образец молозива (М) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 78 % при концентрации 0,485 мг/мл, что на 7 % выше, чем для образца КСБ. Показатели IC_{50} по сухому веществу (94,4 мкг/мл) и по белку (61,3 мкг/мл) в 1,6/1,7 раза ниже, чем для образца КСБ, что свидетельствует о более высокой антиоксидантной активности молозива по сравнению с белками молока.

Гидролиз молозива и последующая ультрафильтрация также приводит к повышению антиоксидантной активности за счет уменьшения высокомолекулярной фракции белка. Образец ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–УФ) восстанавливает флуоресценцию флуоресцеина до 86 %, что на 8 % выше, чем для образца молозива, при более низкой концентрации 0,227 мг/мл. Показатели IC_{50} по сухому веществу (29,1 мкг/мл) и по белку (12,4 мкг/мл) уменьшаются в 3,2/5 раз по сравнению с аналогичными показателями молозива. Кроме того, показатели IC_{50} несколько ниже по сравнению с аналогичными показателями образца ГСБ–УФ, а показатель A_{max} на 3 % выше.

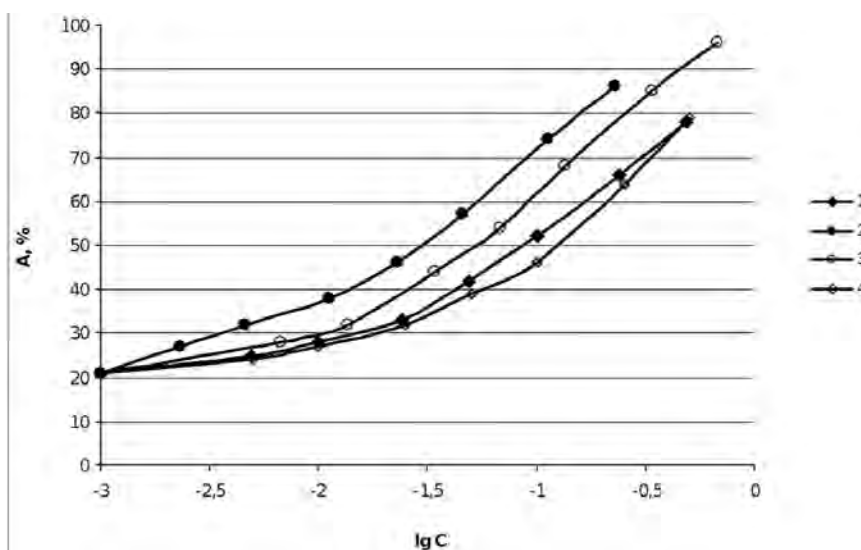


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации (С) молозива (М) (1), ультрафильтрата гидролизата молозива (ГМ–УФ) (2), комплекса ультрафильтрата гидролизата молозива с γ -циклодекстрином (ГМ–ЦД) (3) и γ -циклодекстрина (ЦД) (4)

Образец комплекса ультрафильтрата гидролизата молозива с γ -циклодекстрином (ГМ–ЦД) восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина на максимальную величину ($A_{max} = 96\%$) при концентрации 0,68 мг/мл. Как видно из рисунка 2, этот образец снижает радикальную активность более эффективно, чем образец молозива, но менее эффективен по сравнению с образцом ГМ–УФ. Показатель IC_{50} по сухому веществу (50,6 мкг/мл) в 1,9 раза ниже аналогичного показателя для образца молозива и в 1,7 раза выше показателя для образца ГМ–УФ. Однако, показатель IC_{50} по белку (7,2 мкг/мл) уменьшается в 8,5 и 1,7 раза по сравнению с аналогичными показателями для образцов молозива и ГМ–УФ соответственно. Данный образец так же показывает более высокую антиоксидантную активность по сравнению с аналогичным образцом для белков молока (ГСБ–ЦД). Его показатель A_{max} на 8 % выше, а показатель IC_{50} по белку в 1,6 раз ниже. Необходимо отметить увеличение АОА комплекса по отношению к γ -циклодектрину. Повышается показатель A_{max} на 17 % и показатель IC_{50} по сухому веществу уменьшается в 2,4 раза по сравнению с аналогичным показателем для образца γ -циклодекстрина.

Таким образом показано повышение антиоксидантной активности благодаря гидролизу и последующей ультрафильтрации молока и молозива за счет обогащения низкомолекулярной фракции. Показатели A_{max} образцов

ультрафильтратов гидролизованного молока и молозива возрастали на 8–12%, а показатели IC_{50} по сухому веществу уменьшались в 3,2/4,5 раза, а по белку в 5/5,3 раза по сравнению с образцами КСБ и молозива.

Образцы комплексов белков молока и молозива с γ -циклодекстринами показывали повышение АОА по сравнению с исходными образцами КСБ и молозива, а также с γ -циклодекстрином. Показатели A_{max} образцов комплексов ГСБ–ЦД и ГМ–ЦД увеличивались на 17/18 % по сравнению с образцами КСБ и молозива и на 9/17 % по сравнению с γ -циклодекстрином. Показатели IC_{50} комплексов ГСБ–ЦД и ГМ–ЦД по сухому веществу уменьшались в 2,4/1,9 раз, а по белку в 9,2/8,5 раза по сравнению с исходными образцами КСБ и молозива. Также они уменьшались в 2/2,4 раза и по сравнению с IC_{50} циклодекстрина.

Сравнение комплексов белков молока и молозива с γ -циклодекстринами с ультрафильтратами гидролизатов молока (ГСБ–УФ) и молозива (ГМ–УФ) показывает повышение показателя A_{max} на 5–10 % при максимальных концентрациях и снижение показателей IC_{50} по белку в 1,7 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wada, Y. Bioactive peptides derived from human milk proteins – mechanisms of action / Y. Wada, B. Lönnerdal // J. Nutr. Biochem. 2014. V. 25, № 5. P. 503–514.
2. Mohanty, D. et al. Antimicrobial peptides as natural bio-preservative to enhance the shelf-life of food / D. Mohanty // Int. J. Food Prop. 2016. V. 19. P. 837–846.
3. Tsaouri, S. Cow's milk allergenicity / S. Tsaouri, K. Douros, K.N. Priftis // Endocr. Metab. Immune. 2014. V. 14, № 1. P. 16–26.
4. Madureira, A.R. Invited review: physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins / A.R. Madureira [et al.] // J. Dairy Sci. 2010. V. 93, № 2. P. 437–455.
5. Тарун Е.И. Антиоксидантная активность гексагидрохинолонов / Е.И. Тарун, А.В. Данькова, А.Н. Пырко // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2019. – № 2. – С. 77–83.

ВЛИЯНИЕ ХЛОРИДА ЦИНКА НА ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЕ ИНСУЛИНА

EFFECT OF ZINC CHLORIDE ON INSULIN FIBRILLATION

В. В. Саган^{1,2}, Н. В. Богданова^{1,2}

V. Sagan^{1,2}, N. Bogdanova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
kbb@iseu.by, sagan_lera@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Выявлено влияние температурного и механического фактора на фибриллообразование инсулина. Установлено, что в процессе инкубации инсулина в течении 30 часов концентрация фибрилл возрастает по сравнению с контролем. Показано, что инкубирование инсулина с хлоридом цинка приводило к снижению фибриллообразования инсулина.

The influence of temperature and mechanical factors on insulin fibril formation was revealed. It was found that during the incubation of insulin for 30 hours, the concentration of fibrils increases compared to the control. It was shown that the incubation of insulin with zinc chloride led to a decrease in insulin fibril formation.

Ключевые слова: инсулин, хлорид цинка, фибриллообразование, сахарный диабет.

Keywords: insulin, zinc chloride, fibril formation, diabetes mellitus.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-14-17>

Благодаря экспериментальным исследованиям процессов денатурации и ренатурации белков и условиях *in vitro*, известно, что вся информация о пространственной структуре белков заключена в их аминокислотной последовательности. Некоторые белки обладают способностью после денатурации спонтанно восстанавливать свою уникальную конформацию и функцию. Во время нарушения пространственной укладки белков, могут образоваться жесткие агрегаты – амилоиды. Образование амилоидов (амилоидогенез) представляет собой стадийный процесс, в основе которого лежит изменение пространственной формы белка. Для этого белковая молекула

частично разворачивается (денатурирует) и вне зависимости от того, какая у нее была вторичная структура (α -спирали или β -складки, или они обе), она формирует β -складчатый жесткий каркас на всем своем протяжении. Этот процесс не зависит от того, в каком порядке расположены аминокислоты, как при обычной укладке белка, то есть белок с любой последовательностью может подвергаться этому процессу. Далее новые формируемые β -складчатые молекулы агрегируют между собой и образуют фибриллу. Фибрилла представляет собой длинный тяж из агрегатов белков с новой формой. Такая новая пространственная форма белков устойчива к протеазам (ферментам, расщепляющим белки) и растворителям, и потому они могут накапливаться в клетках и тканях организма. Амилоиды считают главной причиной развития таких патологий, как болезни Альцгеймера и Паркинсона, диабет второго типа.

Диабет относится к группе самых распространенных заболеваний человека, одним из основных признаков которого является гипергликемия, – следствие недостаточной секреции инсулина или нарушения его функции.

Инсулин – практически единственный гормон, снижающий уровень глюкозы и секретируемый β -клетками поджелудочной железы

Эффективность инсулина в лечении сахарного диабета, обусловленная способностью этого гормона снижать уровень глюкозы в крови, была доказана в течение десятилетий его применения в медицинской практике. Тем не менее, в настоящее время актуально проводить поиск новых подходов к терапии сахарного диабета в связи с увеличением количества случаев заболевания и необходимостью учета индивидуальных особенностей и предпочтений пациентов [1].

Инсулин имеет большую склонность к агрегации и формированию фибрилл. Фибриллообразование инсулина является нежелательным явлением при использовании инсулина в терапевтических целях. Инсулин для инъекций склонен при различных внешних воздействиях формировать фибриллы. Частое явление при получении, хранении, транспортировке инсулина – его спонтанная полимеризация. Кроме того, существует еще проблема инъекционного амилоидоза инсулина, наблюдаемая при частых инъекциях препаратов.

В настоящее время известны условия, приводящие к образованию активных инсулиновых фибрилл. Фибрилляция инсулина возникает при различных изменениях окружающей среды (рН, ионные условия, температура, органические растворители и перемешивание); она также зависит от способов получения инсулина, его доставки и хранения. Следует отметить, что фибрилляция инсулина у человека протекает медленнее, чем у наиболее изученных бычьих инсулинов.

При лечении диабета инсулин проникает в мышцы путем инъекций, где он агрегирует с образованием амилоидных фибрилл в месте инъекций лекарств диабетическим пациентам и вызывает патологическое состояние, называемое инсулиновым инъекционным амилоидозом. Агрегация происходит из-за того, что большой размер гексамера инсулина замедляет его адсорбцию, поскольку гексамер должен пройти через димеры в мономерном состоянии и только таким образом проникнуть в кровоток. Это приводит к замедлению взаимодействия с рецепторами инсулина и необходимости приема инсулина за 1-1,5 ч до приема пищи. При этой патологии амилоидные фибриллы инсулина образуют твердую подкожную массу в месте инъекции, где так же может возникнуть иммунный ответ.

Несмотря на интенсивные исследования фибриллогенеза инсулина, не существует общепринятой схемы формирования зрелых фибрилл. Основные трудности возникают при интерпретации начала фибрилляционного процесса. Полимеризация инсулина начинается с перехода мономерного белка из нативного состояния в частично развернутую конформацию, которая может быть амилоидогенной. Сильная зависимость реакции полимеризации от различных внешних параметров приводит к образованию инсулиновых фибрилл с различной морфологией, что затрудняет анализ общей схемы формирования фибрилл.

Существует модель образования фибрилл инсулина, согласно которой росту амилоидов предшествует диссоциация димеров/гексамеров инсулина до мономеров, образующих в дальнейшем промежуточную структуру, соответствующую ядру нуклеации фибриллы. Также было показано, что первой стадией фибриллогенеза инсулина является переход от нативной к частично развернутой, промежуточной конформации мономера. В последнее время на основе представлений о наличии общего структурного элемента в амилоидных фибриллах были предложены модели фибрилл инсулина, в которых повторяющейся структурной единицей являются β -арки либо кольцевые олигомеры. Представляет интерес обнаружение в аминокислотной последовательности мономера инсулина амилоидогенных фрагментов, ответственных за формирование остова фибриллы. Для амилоидов характерна высокая устойчивость к химическим физическим воздействиям, таким как изменение температуры и давления, а также к обработке протеазами.

Цинк является важным микроэлементом, участвующим в правильной упаковке и хранении инсулина. Общее содержание цинка в β -клетках поджелудочной железы является одним из самых высоких в организме, и было обнаружено, что изменения уровня Zn^{2+} связаны с диабетом. Наиболее распространенной формой комплекса Zn-инсулин является гексамер, содержащий два иона цинка. Инсулин не может образовывать комплексы с ионами цинка в кровотоке из-за низкой концентрации свободного Zn^{2+} в этой среде. Гексамер является формой хранения инсулина, тогда как мономер является активной формой гормона (рисунок 1).

Связываясь с центральной частью полипептидной цепи, Zn^{2+} влияет на пространственное строение всей белковой молекулы, в итоге концевая часть полипептида становится более структурированной и упорядоченной. Именно такая упорядоченность в конструкции концевой части предохраняет белковые молекулы от взаимного слипания [2].

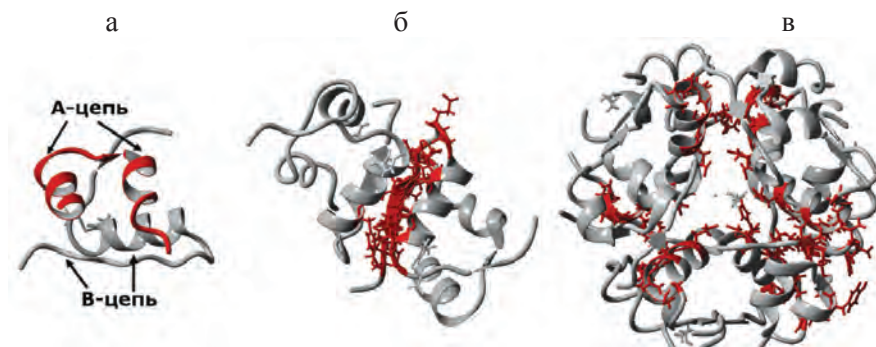


Рисунок 1 – Рентгеновская структура инсулина (а – мономер, б – димер, в – гексамер)

Цель исследования. Оценка влияния ионов Zn^{2+} на фибриллообразование молекулы инсулина.

Материалы и методы исследования. Инсулин готовили в физиологическом растворе в концентрации 2 мг на 1 мл. Хлорид цинка вносили в исследуемые пробы в концентрации 30 ммоль. В полимерную микропробирку вносили 1 мл инсулина и 30 мкл хлорида цинка и подвергали инкубации при 37 °С и механическому воздействию. Измерение интенсивности флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония) при 481 нм. Длина волны возбуждения – 440 нм. Для измерения флуоресценции в кювету вносили 2 мл физиологического раствора, 10 мкл пробы и 10 мкл тиофлавина (ThT).

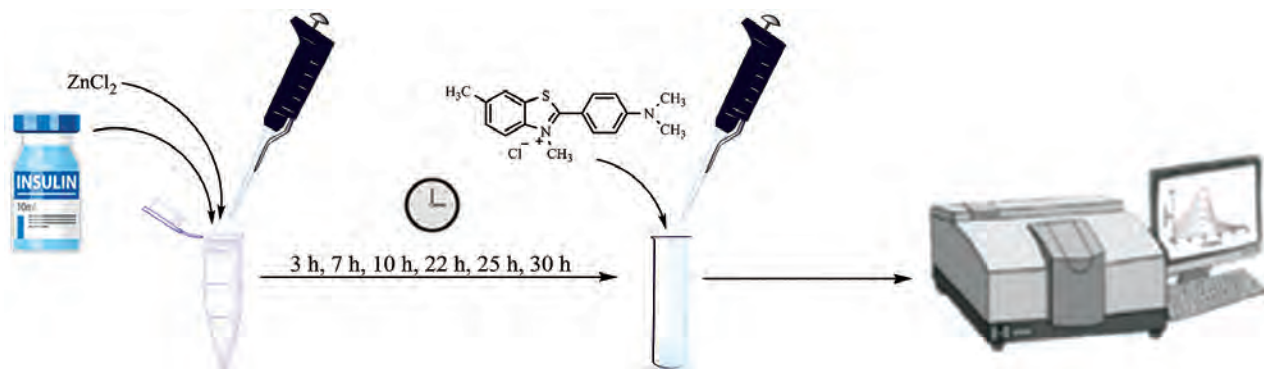


Рисунок 2 – Схема эксперимента по проверке хлорида цинка на влияние фибриллообразования инсулина

Результаты исследования. Тиофлавин Т – флуоресцентное вещество, соль из группы бензотиазолов. Краситель способен специфическим способом связываться с амилоидными фибриллами в растворах, вследствие чего значительно возрастает квантовый выход его флуоресценции. Фибриллы, образующихся при механическом воздействии и температуре были изучены при помощи амилоидного красителя ThT.

Результаты исследования по влиянию температурного и механического факторов на фибриллообразование молекулы инсулина представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние температурного и механического факторов на фибриллообразования молекулы инсулина

№	Время	Длина волны (нм)	Показатели интенсивности флуоресценции молекулы инсулина, связанного с тиофлавином (отн. ед)
1	Контроль	481	1.4±0,03
2	3 часа		1.7±0,05
3	7 часов		2.61±0,17
4	10 часов		3.81±0,4
5	22 часа		100.25±0,13
6	25 часа		87.24±0,02
7	30 часов		56.8±0,3

Результаты исследования по влиянию хлорида цинка на фибриллообразования молекулы инсулина представлены в таблице 2.

Интенсивность собственной флуоресценции инсулина медленно уравниваются, после добавления в раствор Zn^{2+} . Агрегация пептида была очевидной из-за увеличения мутности раствора, следовательно, процесс связывания Zn^{2+} может быть более сложным при высоких концентрациях инсулина.

Таблица 2 – Влияние хлорида цинка на фибриллообразование молекулы инсулина

№	Время	Длина волны (нм)	Показатели интенсивности флуоресценции молекулы инсулина, связанного с тιοфлавином при добавлении хлорида цинка (отн. ед)
1	Контроль	481	1.4±0,03
2	3 часа		1.97±0,06
3	7 часов		2.74±0,07
4	10 часов		1.82±0,008
5	22 часа		6.56±0,18
6	25 часа		1.81±0,19
7	30 часов		2.14±0,3

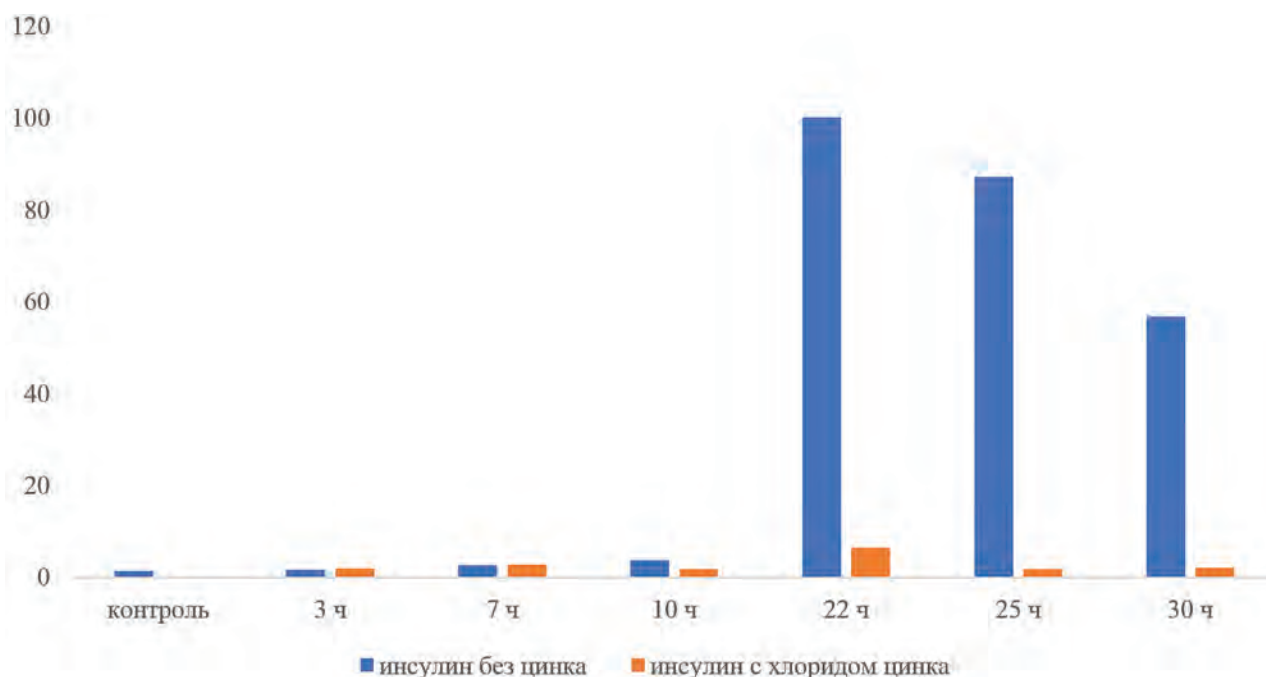


Рисунок 4 – График зависимости образования фибрилл инсулина и процессе инкубации при 37 °C и механическом воздействии

Образование амилоида подавлялось ионами Zn^{2+} . Таким образом добавление ионов цинка ингибировало фибриллообразование молекулы инсулина.

Выводы. Хлорид цинка обеспечивает стабилизацию гексамерной формы молекулы инсулина что в свою очередь предупреждает деградацию во время хранения (гексамер инсулина более стабилен в отношении химической или физической деградации, чем мономер инсулина). Гексамерные формы инсулина ввиду их стабильности широко используются в фармацевтических препаратах.

Концентрация фибрилл по сравнению с контролем увеличилась, это свидетельствует о том, что механическое воздействие и температура увеличивает фибриллообразование молекулы инсулина. Концентрация фибрилл при инкубации инсулина с хлоридом цинка по отношению к концентрации фибрилл без хлорида цинка уменьшалась.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селиванова, О. М. Анализ аналогов инсулина и стратегия их дальнейшей разработки / О. М. Селиванова, С. Ю. Гришин, А. В. Глякина, А. С. Садгян, Н. И. Ушакова, О. В. Галзитская // Успехи биологической химии. – 2018. – Т. 58. – С. 313 – 346.
2. Gavrilova, J. Affinity of zinc and copper ions for insulin monomers / Julia Gavrilova, Vello Tougu and Peep Palumaa // Metallomics. – 2014. – Vol. – P. 1296 – 1300.

ДИАГНОСТИКА КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ ИММУНОФЕРМЕНТНЫМ АНАЛИЗОМ

DIAGNOSTICS OF CORONAVIRUS INFECTION BY ENZYME IMMUNOASSAY

П. С. Харитон^{1,2}, Е. Е. Тарасова^{1,2}, Н. С. Харитон^{1,2}

P. S. Khariton^{1,2}, E. E. Tarasova^{1,2}, N. S. Khariton^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

pollykharyton@gmail.com, kbb@iseu.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

COVID-19 – вирусная инфекция, вызываемая коронавирусом SARS-CoV-2 и имеющая тяжёлые долгосрочные последствия для здоровья. Следует отметить, что встречаются формы заболевания, как с ярко выраженными клиническими проявлениями, так и без ярко выраженной симптоматики, но с наличием антител IgG и IgM к SARS-CoV-2, как у переболевших лиц. В качестве объекта исследования использовались сыворотки 141 добровольца, у которых были как подтверждённые ПЦР-тестом случаи COVID-19, так и бессимптомные формы. В сыворотках добровольцев с бессимптомными формами течения заболевания были выявлены пробы, содержащие как IgM, так и IgG.

COVID-19 is a viral infection caused by the SARS-CoV-2 coronavirus with severe long-term health consequences. It should be noted that there are forms of the disease, both with pronounced clinical manifestations and without pronounced symptoms, but with the presence of IgG and IgM antibodies to SARS-CoV-2, as in recovered persons. The object of the study was the sera of 141 volunteers who had both PCR-confirmed cases of COVID-19 and asymptomatic forms. In the sera of volunteers with asymptomatic forms of the course of the disease, samples containing both IgM and IgG were detected.

Ключевые слова: SARS-CoV-2, диагностика COVID-19, иммуноферментный анализ.

Keywords: SARS-CoV-2, COVID-19 diagnostics, enzyme immunoassay.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-18-21>

COVID-19 – потенциально тяжёлая острая респираторная инфекция, вызываемая коронавирусом SARS-CoV-2 (2019-nCoV), продолжающая поражать население большей части мира. Генетический материал коронавируса представлен одноцепочечной положительно заряженной РНК и обладает одним из самых больших геномов среди всех РНК-вирусов. Две трети генома коронавируса на 5'-конце кодирует вирусные белки, которые принимают участие в процессе транскрипции вирусной РНК и репликации, а одна треть на 3'-конце кодирует структурные и группоспецифические вспомогательные белки. К основным структурным белкам коронавируса относят:

– S-белок (spike), состоящий из 1300 а.к. и имеющий размер 180–200 кДа.

Белок S образует гомотримерный комплекс, выступающий над поверхностью вируса и состоящий из двух функциональных субъединиц, S1 и S2, которые отвечают за связывание с рецептором клетки-хозяина и слияние вируса с клеточными мембранами хозяина.

Меньшая субъединица S1 состоит из N-концевого домена (NTD) и трех C-концевых доменов (CTD1–3), из которых CTD1 образует рецептор-связывающий домен (RBD) и способствует стабилизации прикрепленной к мембране субъединицы S2. Более крупная субъединица S2 содержит механизм слияния вирусов и включает гидрофобный слитый пептид (FP), гептадный повтор 1 (HR1), центральную спираль (CH), соединительный домен (CD), гептадный повтор 2 (HR2), трансмембранный домен (TM) и цитоплазматический хвост (CT). S белки вирусов MERS-CoV и SARS-CoV вызывают устойчивый иммунный ответ, т.к. S белок SARS-CoV-2 в своей структуре содержит сайт с высоким родством к связыванию β-цепи TCR. Помимо этого, обнаружены аминокислотные последовательности, имеющие антигенные свойства.

– E-белок (envelope), состоящий из 76–109 а.к. молекулярной массой 8,4–12 кДа.

Белок E представляет собой короткий интегральный мембранный белок, состоящий из 76–109 аминокислот и размером от 8,4 до 12 кДа.

Первичная вторичная структура показывает, что E имеет короткий гидрофильный amino-конец, состоящий из 7–12 аминокислот, за которым следует большой гидрофобный трансмембранный домен (TMD) из 25 аминокислот, и заканчивается длинным гидрофильным карбоксильным концом, который включает большую часть белка. Гидрофобная область TMD содержит по крайней мере одну амфипатическую α-спираль, которая олигомеризуется с образованием ионопроводящей поры в мембранах.

TMD состоит из двух неполярных нейтральных аминокислот, валина и лейцина, придающих белку гидрофобность. Согласно исследованиям вторичной структуры E предполагается, что С-конец β - и γ -CoV также содержит консервативный остаток пролина, сосредоточенный в мотиве β -coil- β .

PDZ-связывающий мотив (PBM) также является важным белковым мотивом в СТ области и играет решающую роль в патогенности, разобщая передачу сигналов в клетке.

– М-белок (membrane), содержащий 230 аминокислот и имеющий молекулярную массу 25–35 кДа и является наименьшим структурным белком SARS-CoV-2.

Взаимодействие белка М с S и E формирует оболочку вириона. Белок М представляет собой многозвенный мембранный белок, который характеризуется тремя трансмембранными доменами, имеющими С-конец внутри и N-конец снаружи. Третий трансмембранный домен содержит на конце амфипатическую область. Обнаружено, что этот регион высоко консервативен у представителей коронавируса. Помимо этой области, другие области белка М демонстрируют вариативность белковых последовательностей, но интересно, что эти вариации не влияют на SS М-белка CoV.

Хотя антигенные сайты на М белке не определены, предполагается, что его N-концевой гидрофильный экто-домен содержит основные антигенные детерминанты, ответственные за иммунологические реакции.

– N-белок (nucleocapsid) с молекулярной массой 43–50 кДа.

Нуклеокапсидный белок имеет три домена: N-концевой домен (NTD) размером почти 200 остатков, который является доминирующим РНК-связывающим доменом, центральный домен с гибким линкером Ser/Arg-rich с поперечно-полосатым блоком примерно из 50 остатков и С-концевой домен (CTD), который, как и NTD, имеет длину примерно 200 остатков, но функционирует при образовании димеров/олигомеров. Белок N выполняет первичные функции самодимеризации/олигомеризации и связывания РНК, хотя NTD выполняет первичную функцию связывания РНК, все три домена обладают сродством к нуклеиновым кислотам. Кроме того, вблизи N- и С-концов этих N-белков имеются внутренне неупорядоченные области, каждая длиной около 50 остатков.

N-белки выполняют множество функций, включая, помимо прочего: формирование стабильных, но динамичных комплексов с геномной РНК для уплотнения нуклеиновой кислоты в вирусной частице, взаимодействие со структурным мембранным (М) белком, способствующее складыванию оболочки мембраны и сборке вириона, взаимодействие через две различные области N с неструктурным белком, nsр3, чтобы обеспечить надлежащее рекрутирование N в комплекс репликации/транскрипции, играя важную роль в усилении транскрипции геномной РНК и вирусной мРНК, повышая эффективность репликации РНК, частично за счет облегчая разделение двух цепей РНК, нарушая клеточную защиту хозяина процессы, такие как продукция интерферона.

N белки коронавирусов содержат несколько иммунодоминантных эпитопов и антигенных сайтов; однако они содержат общий эпитоп, расположенный в С-концевой области, который вызывает сильный иммунный ответ.

Таким образом, описанные выше белки являются важными биомаркерами коронавирусной инфекции. Так, для диагностики инфекции кровь пациента при помощи иммуноферментного анализа проверяется на наличие иммуноглобулинов класса G и класса M к S-белку, М-белку или N-белку, которые и определяют патогенность вируса и принимают непосредственное участие в патогенезе заболевания.

На наличие свободных иммуноглобулинов класса G и M к N-белку исследовались сыворотки крови 141 добровольца, среди которых были лица с установленной перенесённой коронавирусной инфекцией (79 ПЦР-подтверждённых случаев наличия коронавирусной инфекции) и лица, предположительно не болевшие или перенесшие заболевание без симптомов (62 человека). Срок после перенесенного заболевания от 1 до 2 месяцев.

Исследования проводились иммуноферментным анализом, принцип которого основан на методе твёрдофазного непрямого ИФА и является двухстадийной процедурой. Реакцию останавливают стоп-реагентом и измеряют оптическую плотность (ОП) смеси в лунках при длине волны 450/620 нм, которая пропорциональна концентрации IgM и IgG к SARS-CoV-2 в образцах. В работе были использованы наборы DIA®-SARS-CoV-2-NP-IgG и DIA®-SARS-CoV-2-NP-IgM (НПК «ДИАПРОФ-МЕД», Украина).

Результаты ИФА регистрировались с помощью спектрофотометра. Измерение оптической плотности проводилось в двухслойном режиме: основной фильтр – 450 нм, референс-фильтр – в диапазоне 620–650 нм. Результаты исследований учитывались только если значение ОП (оптическая плотность) для лунок с K⁺ составляло 0,8 и выше, для лунок с K⁻ - не более 0,2.

На основании результатов статистической обработки данных все сыворотки были разделены на четыре группы по наличию в них антител классов M и G к N-белку (таблица 1).

Таблица 1 – Группы сывороток пациентов по наличию в них антител классов M и G к N-белку

Группа по наличию антител	Расшифровка
IgM-отрицательный и IgG-отрицательный;	Нет данных, указывающих на контакт организма с вирусом SARS-CoV-2 с выработкой специфического антительного иммунного ответа.
IgM-положительный и IgG-отрицательный;	Может свидетельствовать о подострой фазе инфекции COVID-19, в том числе при возможности отсутствия у пациента клинических проявлений инфекции.
IgM-положительный и IgG-положительный;	Данное сочетание может свидетельствовать о факте инфицирования в течение месяца вирусом SARS-CoV-2 с формированием специфического иммунного ответа. Сочетание количества IgM и IgG может говорить о давности инфекции.
IgM-отрицательный и IgG-положительный;	Положительный тест на IgG свидетельствует о факте контакта в определённый период с вирусом SARS-CoV-2 с формированием специфического иммунного ответа.

*Таблица 2 – Количество проб сывороток пациентов
с подтверждённой и не подтверждённой коронавирусной инфекцией*

	Количество проб пациентов с подтверждённой инфекцией (ПЦР)	Количество проб пациентов с не подтверждённым COVID-19/ пациенты, не знавшие о своей болезни
IgM-отрицательный и IgG-отрицательный	5 (6,6%)	30 (46,1%)
IgM-положительный и IgG-отрицательный	23 (30,3%)	8 (12,3%)
IgM-положительный и IgG-положительный	19 (25%)	8 (12,3%)
IgM-отрицательный и IgG-положительный	29 (38,1%)	9 (13,8%)

Таким образом, среди пациентов с подтверждённой инфекцией в 5 пробах не было обнаружено антител, 23 пробы оказались положительными по IgM, 19 – по IgM и IgG и 29 проб – только по IgG (таблица 2).

Был обследован 21 пациент после вакцинации Спутником V, а также 78 человек, не прошедших вакцинацию. Определялся титр антител спустя 2 месяца после вакцинации или предполагаемой болезни (таблица 3).

*Таблица 3 – Показатели антител вакцинированных пациентов
с симптоматикой и без после вакцинации и не вакцинированных пациентов*

Вакцинация, отсутствие симптоматики	
Срок после вакцинации 2 месяца	
	Количество пациентов
от 0,2 до 0,8	1
от 0,8 до 1,3	2
>1,3	1
Без антител	11
Вакцинация, выраженная симптоматика	
2 месяца	
	Количество пациентов
от 0,2 до 0,8	1
от 0,8 до 1,3	1
>1,3	2
Без антител	0
Не вакцинированные, без выраженной симптоматики	
	Количество пациентов
от 0,2 до 0,8	3
от 0,8 до 1,3	8
>1,3	1
Без антител	16
Без вакцины с выраженной симптоматикой	
2 месяца после заболевания	
	Количество пациентов
от 0,2 до 0,8	15
от 0,8 до 1,3	13
>1,3	4
Без антител	18

**Расшифровка результатов:*

- от 0 до 0,2 – результат приравнивается к отрицательному, антител нет;
- при 0,2 до 0,8 – антитела присутствуют, однако вируснейтрализующий эффект сохраняется только в 50 % образцах проб;
- при 0,8 до 1,3 – титр антител высокий, образцы обладают высоким вируснейтрализующим эффектом;
- 1,3 и выше – выработан максимальный уровень антител, вируснейтрализующий эффект ярко выражен.

Из полученных результатов можно сделать следующий вывод: антитела выявляются как у пациентов с подтвержденной коронавирусной инфекцией, так и у пациентов с неподтвержденной инфекцией или асимптоматичным течением. Также разный уровень антител определяется и у пациентов с вакцинацией. Следовательно, и IgM, и IgG к COVID-19 вырабатываются исключительно индивидуально и зависят от иммунного статуса человека.

Таким образом, ИФА-диагностика коронавирусной инфекции играет важную роль не только в случаях, когда вирус подтвержден, но и при бессимптомной форме заболевания, так как разное соотношение антител встречается как в группе лиц с подтвержденным, так и в группе лиц с неподтвержденным COVID-19.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nandini Sethuraman, MD, Sundararaj Stanleyraj Jeremiah, MD et al. Interpreting Diagnostic Tests for SARS-CoV-2. *AMA*. 2020;323(22):2249-2251. doi:10.1001/jama.2020.8259
2. Nalla AK, Casto AM, Huang MW, et al. Comparative performance of SARS-CoV-2 detection assays using seven different primer/probe sets and one assay kit. *J Clin Microbiol*. 2020; JCM.00557-20. Published online April 8, 2020. doi:10.1128/JCM.00557-20
3. Xiao AT, Gao C, Zhang S. Profile of specific antibodies to SARS-CoV-2: the first report. *J Infect*. 2020;S0163-4453(20)30138-9. Published online March 21, 2020. doi:10.1016/j.jinf.2020.03.012

ВРОЖДЕННЫЕ ПОРОКИ СТРОГО УЧЕТА У ДЕТЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ CONGENITAL DEFECTS IN CHILDREN IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Н. В. Кокорина^{1,2}, А. А. Ершова-Павлова³, А. Г. Яцков^{1,2}
N. V. Kokorina^{1,2}, A. A. Ershova-Pavlova³, A. G. Yatskov^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

³Республиканский научно-практический центр «Мать и дитя»

г. Минск, Республика Беларусь

gebeg@iseu.by

artyomyatskov@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEU BSU

³Republican Scientific and Practical Center «Mother and Child»

Minsk, Republic of Belarus

Проблема врожденной и наследственной патологии продолжает оставаться актуальной в настоящее время. За последнее десятилетие она приобрела серьезную социально-медицинскую значимость. В системе здравоохранения многих стран мира, в том числе и Беларуси, профилактика этой патологии, базирующаяся на современных достижениях медицинской генетики, акушерства и перинатологии, стала принимать приоритетное направление. Врожденные пороки развития (ВПР) относятся к группе экоассоциированных заболеваний, которые являются индикаторами состояния окружающей среды. Одной из причин появления тератогенного воздействия являются экологические факторы антропогенного происхождения: загрязнения окружающей среды веществами мутагенного действия. [1]

The problem of congenital and hereditary pathology continues to be relevant at the present time. Over the past decade, it has acquired serious social and medical significance. In the healthcare system of many countries of the world, including Belarus, the prevention of this pathology, based on modern achievements in medical genetics, obstetrics and perinatology, has become a priority. Congenital malformations belong to the group of eco-associated diseases, which are indicators of the state of the environment. One of the reasons for the emergence of teratogenic effects are environmental factors of anthropogenic origin: environmental pollution with mutagenic substances.

Ключевые слова: мониторинг, врожденные пороки строго учета, новорожденные.

Keywords: monitoring, congenital defects of strict accounting, newborns.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-21-24>

Средством контроля учета, регистрации и предупреждения врожденных пороков развития (ВПР) является мониторинг, который представляет собой систему длительного слежения за частотой ВПР в популяции. На сегодняшний день действуют две международные организации, объединяющие и координирующие деятельность

мониторинговых регистров разных стран: Clearinghouse и EUROCAT. В Беларуси мониторинг ВПР осуществляется в рамках Белорусского регистра врожденных пороков развития, созданного в 1979 г. в НИИ наследственных и врожденных заболеваний (в настоящее время – Республиканский научно-практический центр «Мать и дитя»).

Список пороков строго учета в классе 17 (разделе Q) международной классификации болезней 10 пересмотра (МКБ-10):

1. Расщелина губы и/или неба Q35,37
2. Редукционные пороки конечностей Q71,73
3. Полидактилия Q69
4. Атрезия/ стеноз пищевода/ ануса Q39, Q39,2, Q42, Q42.3
5. Анэнцефалия Q00
6. Спинномозговая грыжа Q0,5
7. Синдром Дауна Q90
8. МВПР Q86, Q87, Q89,7, Q91-93, Q96-99

Целью настоящего исследования явилось распространённость ВПР строго учета и эффективность пренатальной диагностики. Проанализированные данные о встречаемости ВПР строго учета в городе Минске за 2016 год по данным Белорусского регистра врожденных пороков развития. Исследуемый период времени выбран в связи с наиболее высоким показателем рождаемости в этом году. Проведено изучение 222 случаев рождения детей с пороками подлежащих строгому учету в 2016 году, что составило 1,7 случая на 10000 новорождённых.

При анализе возраста беременных, установлено, что возрастной контингент от 20 до 35 лет составил 112 (56 %) случаев; свыше 35 лет – 107 (42,3 %); менее 19 лет - 3 (1,7 %). Таким образом, у 107 женщин (42,3 %) возрастной контингент свыше 35 лет, что составляет высокий риск по развитию ВПР. [2]

С целью изучения возможных факторов риска врожденной патологии исследован материнский анамнез. Установлен, что у 16 (7,2 %) женщин выявлено наличие потенциальных факторов риска в профессиональной деятельности: контакт с химическими веществами до и во время беременности, тяжелый физический труд, действие высокой температуры, вибрации, подверженность эмоциональному стрессу.

При изучении акушерско-гинекологического анамнеза, установлено: в 15,8 % случаев отмечались хронические заболевания репродуктивной системы: оликистоз, дермоидная киста, уреаплазмоз, дисфункция яичников, миома матки. В 24 (10,8 %) случаях во время беременности отмечались перенесенные вирусные и бактериальные инфекции: кольпит – 7 случаев (3,2 %); ОРВИ- 6 случаев; (2,7 %), ОРЗ - 4 случая (1,8 %); герпетическая инфекция – 4 случая (1,8%). В 13 (5,9 %) случаях во время беременности прием лекарственных средств, потенциально обладающими тератогенным действием (дюфастон, тераскан, эутиракс, сульфаниламиды, салицилаты).

Проведено распределение плодов с ВПР строго учета по половой принадлежности. Установлено, что в 98 случаях плоды были женского пола – (44,14 %); в 111(50 %) случаях – мужского пола; в 14 (5,85 %) случаях с неопределенным полом.

Таблица 1 – Частота встречаемости ВПР строго учета в городе Минске за 2016 г.

Название порока	N=222	%	Популяционная частота ‰
Синдром Дауна	74	33,33%	1,38‰
Расщелина губы и неба	25	11,26%	1,13‰
полидактилия	45	20,27%	1,1‰
синдактилия	1	0,45%	1‰
атрезия пищевода	1	0,45%	1‰
атрезия толстого кишечника	1	0,45%	1‰
анэнцефалия	5	2,25%	1,4‰
атрезия заднего прохода без свища	7	3,15%	1,75‰
спинномозговая грыжа	22	9,909%	1,1‰
дизморфия	5	2,25%	1,6‰
уточненные синдромы врожденных аномалий, затрагивающих несколько систем	4	1,801%	1‰
Синдром Эдвардса и синдром Патау	18	8,1%	1,05‰
Синдром Тернера	3	1,351%	1‰
триплоидия и полиплоидия	4	1,801%	1‰
моносомии и утраты части аутосом	2	0,9%	1‰
другие трисомии и частичные трисомии аутосом	3	1,351%	1‰

При изучении популяционных частоты, которая позволяет оценить популяционный риск врожденных и генетически обусловленных заболеваний, установлено, что максимальная популяционная частота отмечалась при: атрезии заднего прохода без свища (1,75 ‰); дизморфии (1,6 ‰); синдроме Дауна (1,38 ‰).

Таким образом, при изучении структуры встречаемости ВПР строго учета выявлено, что наиболее распространённой патологией явились: синдром Дауна (33,3%), популяционная частота – 1,38‰; полидактилия (20,27%), популяционная частота – 1,1‰; спинномозговая грыжа (9,909%), популяционная частота - 1,1‰. Общая популяционная частота врожденных пороков строго учета составило 1,74‰.

Проведено изучение эффективности пренатальной диагностики (ЭПД) у плодов с пороками развития строго учета в городе Минске за 2016 год. Показатель ЭПД врожденных пороков строго учета в ходе расчетов составил 56%, что свидетельствует о высокой эффективности методов пренатальной диагностики. В случае выявления некурабельной патологии у плодов с множественными врожденными пороками развития (МВПР) в раннем гестационном периоде проводилась элиминация плода по медико-генетическим показаниям (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Частота случаев элиминации плода с МВПР по медико-генетическим показаниям

При анализе исходов беременности с ВПР строго учета установлено, что живорожденные составили 42,65%; мертворожденные – 1,35%; абортiroванные по медико-генетическим показаниям – 56% (Рисунок 2).

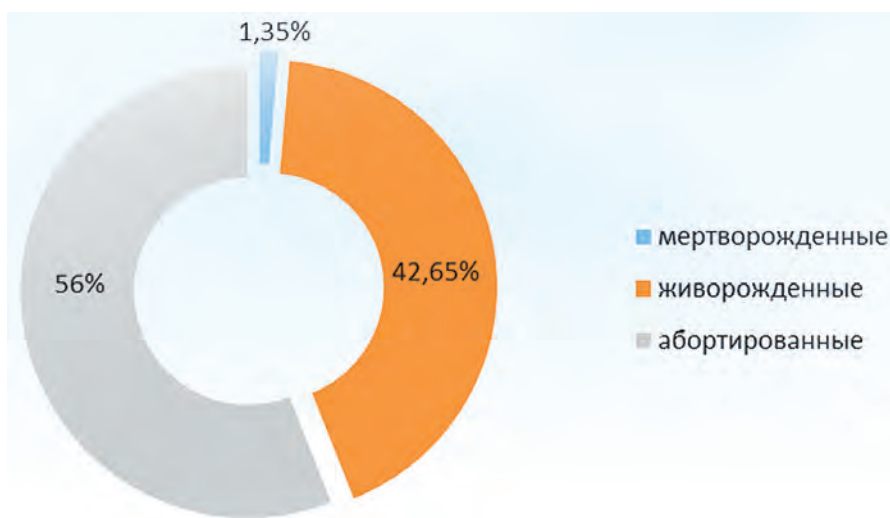


Рисунок 2 – Распределение исходов беременностей

В ходе проведенного исследования установлено:

1. У 107 женщин (42,3%) возрастной контингент составил свыше 35 лет, что является высоким риском по развитию ВПР.

2. У большинства женщин (85,6%) выявлен отягощенный соматический и акушерско-гинекологический анамнез. У 16 (7,21%) случаев выявлено наличие потенциальных факторов риска в профессиональной деятельности. У 13 (5,85%) женщин во время беременности отмечался прием лекарственных средств, потенциально обладающих тератогенным действием.

3. Наиболее распространённой патологией явился синдром Дауна (33,3 %), который был диагностирован в раннем пренатальном периоде.

4. Показатель эффективности пренатальной диагностики врожденных пороков строго учета составил 56 %, что свидетельствует о высокой выявляемости ВПР строго учета в пренатальном периоде. В случаях пренатального диагностирования некурабельной патологии, включающей множественные дефекты развития, проводилась элиминация плода по медико-генетическим показаниям.

Ранняя пренатальная диагностика и выявления тяжелых случаев врожденной патологии дает возможность снизить частоту рождений нежизнеспособных новорожденных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кокорина, Н. В. Тератогенез: учеб.-метод. пособие / Н. В. Кокорина, Л. В. Грик, Е. Н. Альферович. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 64 с.

2. Система мониторинга врожденных пороков развития в Беларуси: сборник тезисов 14-ой Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2014 года: экологические проблемы XXI века», Минск, 2014 г. / С.- Международный. гос. Инст-т, под ред. А.А. Ершова-Павлова [и др.]. – Минск., 2014. – 78 с.

РЕГУЛЯТОРНАЯ РОЛЬ ИНТЕРЛЕЙКИНОВ-4,5 И 6 В РАЗВИТИИ ГЛОМЕРУЛОНЕФРИТА РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ REGULATORY ROLE OF INTERLEUKINS-4, 5 AND 6 IN THE DEVELOPMENT OF GLOMERULONEPHRITIS OF VARIOUS ETIOLOGIES

Х. Таджибаева^{1,2}, Т. Р. Романовская^{1,2}

K. Tadjibayeva^{1,2}, T. R. Romanovskaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kaf_immunal@iseu.by, khursheda.2000@bk.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Установлена взаимосвязь концентрации интерлейкина-4, 5, и 6 с содержанием эозинофилов и уровнем С-реактивного белка у пациентов с хроническим гломерулонефритом. Установлено повышение эозинофилов у пациентов с хроническим гломерулонефритом с преобладанием интерлейкина-4 по сравнению с пациентами с преобладанием интерлейкина-5 и 6, что может являться важным диагностическим маркером гломерулонефритов.

The relationship between the concentration of interleukin-4, 5, and 6 with the content of eosinophils and the level of C-reactive protein in patients with chronic glomerulonephritis was established. An increase in eosinophils was found in patients with chronic glomerulonephritis with a predominance of interleukin-4 compared with patients with a predominance of interleukin-5 and 6, which may be an important diagnostic marker of glomerulonephritis.

Ключевые слова: хронический гломерулонефрит, цитокиновый профиль, интерлейкины-4, 5, 6.

Keywords: chronic glomerulonephritis, cytokine profile, interleukins-4, 5, 6.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-24-27>

Введение. В последние годы уделяется много внимания изучению цитокинового профиля у пациентов с различной патологией, в том числе – с заболеваниями почек. Установлено, что цитокины принимают участие в регуляции пролиферативных процессов, дифференцировки и роста различных клеток. Цитокины позволяют регулировать характер и продолжительность иммунного ответа и воспаления. Количественное содержание цитокинов и их соотношение отражают динамику патологического процесса, коррелируют с активностью заболевания, что позволяет судить об эффективности проводимой терапии и прогнозировать исход заболевания [1].

Хронический гломерулонефрит (ХГН) – это группа заболеваний, которые имеют различное происхождение и морфологические признаки, характеризующиеся поражением клубочкового аппарата, каналов и интерстиция. При частых обострениях развивается гломерулярный склероз, поражение каналов (дистрофия, атрофия) и интерстиция (склероз). Большое значение в дисбалансе регуляторных механизмов занимают цитокины, которые участвуют в инициации иммунного ответа, усиливают и направляют иммунные реакции, опосредуют и регулируют адаптивный иммунный ответ.

Клинические проявления ХГН включают в себя в том или ином сочетании протеинурию, гематурию, артериальную гипертензию, нарушение функции почек. Морфологические изменения складываются из пролиферации клеток клубочков – мезангиальных, эндотелиальных и эпителиальных, изменений базальной мембраны капилляров клубочков, некроза клеток, склероза петель клубочка, а также из изменений канальцев почек (дистрофии, атрофии), сосудов и интерстиция (склероза, клеточной инфильтрации).

Этиология большинства форм гломерулонефритов связана как с генетическими факторами, так и с факторами окружающей среды, например, с бактериями и вирусами, аллергенами, промышленными поллютантами и ксенобиотиками.

Этиологические события выявляют иммуностимулирующие молекулярные паттерны, связанные с патогеном (PAMPs), или молекулярные паттерны, связанные с повреждением (DAMPs), которые активируют как врожденную, так и адаптивную иммунные системы, которые также взаимодействуют друг с другом. Активация врожденной иммунной системы происходит немедленно и включает Toll-подобные рецепторы (TLR) или *nod*-подобные рецепторы (NLR) как на циркулирующих воспалительных клетках, так и на резидентных клубочковых клетках. Активация TLR приводит к высвобождению медиаторов воспаления, которые вызывают повреждение клубочков.

Некоторые PAMPs и DAMPs могут активировать комплемент непосредственно через врожденную иммунную систему. TLR также необходимы для активации адаптивной иммунной системы посредством антигенпредставляющих клеток, которые способствуют дифференцировке CD4-хелперных клеток, активации В-клеток и выработке антител.

Антитела приводят к захвату циркулирующих комплексов или образованию иммунных комплексов *in situ*, которые могут активировать как TLR, так и комплементарные компоненты врожденной иммунной системы. Активация комплемента генерирует хемотаксический фактор C5a, который привлекает циркулирующие воспалительные клетки, которые высвобождают медиаторы и повреждают клубочки, и C5b-9, который активирует резидентные клубочковые клетки, чтобы сделать то же самое. Клетки CD4 Th1 и Th2 вызывают повреждение тканей главным образом через макрофаги и базофилы соответственно, тогда как клетки Th17 могут непосредственно опосредовать повреждение клубочков. Регуляторные клетки CD4 (Tregs) подавляют адаптивный иммунный ответ.

Однако степень участия цитокинов в развитии заболеваний почек, в том числе хронического гломерулонефрита, изучена недостаточно. Сообщения об исследовании цитокиновых взаимодействий при гломерулопатиях немногочисленны, их результаты противоречивы. Исходя из высокой значимости гломерулонефрита и существенного значения в патогенезе этого заболевания иммунной системы, изучение особенностей цитокинового профиля при иммунном воспалении в почке остаётся актуальным и перспективным направлением.

В развитии заболеваний почечной ткани, в особенности хронического гломерулонефрита, выявлено участие цитокинов, таких как интерлейкин-4, -5 и -6 (IL), которые выполняют ряд функций и приводят к дополнительному повреждению почек. IL-5 играет центральную роль в дифференцировке, рекрутировании, выживании и деградации эозинофилов. Действительно, за последние годы были достигнуты значительные успехи в понимании клеточных и молекулярных механизмов, лежащих в основе действия IL-5 в отношении индукции, поддержания и усиления эозинофильного воспаления. Поэтому IL-5 является подходящей мишенью для дополнительной биологической терапии, основанной либо на ингибировании цитокина, либо на блокаде его рецептора.

По современным данным IL-6 является одним из важнейших медиаторов острой фазы воспаления. При острых воспалительных заболеваниях секреция IL-6 максимально стимулируется, и его концентрация в плазме крови может достигать значений до 1000 пг/мл. В мышцах и жировой ткани IL-6 стимулирует мобилизацию энергии, которая приводит к повышению температуры тела, а в печени является главным стимулятором синтеза белков острой фазы. Кроме того, данный цитокин стимулирует пролиферацию и дифференцировку В- и Т-клеток, а также лейкоцитопоз.

Недавние сообщения предполагают участие IL-4 в патофизиологии клубочков почек. Установлено наличие поражения почек у трансгенных мышей с широко распространенной экспрессией IL-4.

Эозинофилы являются преобладающими воспалительными клетками, связанными с реакциями гиперчувствительности и устранением паразитарных инфекций. Эозинофилы рекрутируются в очаг воспаления рядом факторов, включая IL-5, IL-2, IL-16, гистамин, пептиды нейтрофильных клеток и некоторые белки комплемента.

С-реактивный белок (СРБ) – это белок острой фазы, который в основном экспрессируется и секретируется печенью. В ответ на повреждение тканей или инфекцию концентрация СРБ в плазме крови может быстро увеличиваться с исходных уровней менее 1 мкг/мл в течение 48 часов. Кроме того, концентрация СРБ также повышается при хронических воспалительных заболеваниях, включая гломерулонефрит. Из-за корреляции между СРБ и воспалением СРБ привлек широкое внимание в качестве неспецифического маркера для оценки и мониторинга развития инфекции и воспаления, а также в качестве прогностического маркера воспалительных заболеваний [1, 2].

Целью исследования является охарактеризовать цитокиновый профиль пациентов с хроническим гломерулонефритом и определить взаимосвязь количества цитокинов с клинико-морфологическими проявлениями заболевания.

Материалы и методы. Интерлейкины-4, 5 и 6 определялись в сыворотке крови пациентов с хроническим гломерулонефритом, подтвержденным комплексом морфологических, клинических и лабораторных исследований, выполненных по стандартному протоколу.

Обследованные пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от преобладания конкретного цитокина IL-4, 5 или 6 (таблица 1), что позволило проанализировать значение каждого из исследованных цитокинов в

развитии и поддержании хронического гломерулонефрита. В качестве проявления активности указанных цитокинов были использованы показатель уровня С-реактивного белка и процентное содержание эозинофилов в периферической крови пациентов с хроническим гломерулонефритом.

Обследованные пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от преобладания конкретного цитокина IL-4, 5 или 6 (таблица 1), что позволило проанализировать значение каждого из исследованных цитокинов в развитии и поддержании хронического гломерулонефрита. В качестве проявления активности указанных цитокинов были использованы показатель уровня С-реактивного белка и процентное содержание эозинофилов в периферической крови пациентов с хроническим гломерулонефритом. Таблица 1 – Обследованные выборки пациентов с хроническим гломерулонефритом

Общая информация	Обозначения выборок		
	Группа 1	Группа 2	Группа 3
Количество пациентов	15	30	30
Средний возраст	33 ± 9,8	30 ± 10,2	31 ± 8,4
Соотношение мужчины : женщины	7 : 8	15 : 15	15 : 15
Средняя продолжительность заболевания, дни	354	380	365
Отличающий показатель	Преобладание* в цитокиновом профиле IL-4	Преобладание в цитокиновом профиле IL-5	Преобладание в цитокиновом профиле IL-6

* – под преобладанием определённого цитокина в цитокиновом профиле понимались концентрации цитокинов, находящиеся выше 75-го перцентилля, т.е. значения, формировавшие пул высоких значений из всех исследованных образцов сывороток крови

Для статистического анализа данных была использована программа Statistica 8. Анализ данных выборок 1, 2 и 3 выявил нормальный характер распределения, что позволило использовать показатели «среднее значение ± стандартное отклонение», использовать для оценки достоверности различий критерий Стьюдента при $p < 0,05$.

Результаты. Цитокины, как и ряд других иммуноактивных молекул, отличаются разобщением места своей продукции, циркуляторных путей и места действия. Это сочетание позиций цитокинов в организме сообщает саму возможность иммунной регуляции и иммунной эффективности.

Однако, эти зависимость вносят серьёзные проблемы в отношении восприятия и анализа данных лабораторного исследования. Современные тес-системы рекомендуют определять не только уровень цитокинов, выражая его концентрационными величинами, но и в единицах активности.

Функционал цитокинов предполагает необходимость учёта не только действия цитокина, но и поддержание его распознавания в среде организма. Это позволяет избежать чрезмерной продукции дополнительных порций цитокинов, которые могут оказаться системные токсические эффекты, способствуя переводу протективной роли цитокина в патофизиологическую. В этом случае в патогенезе заболевания происходит перемена смысловых позиций «причина и механизм», т.е. чрезмерная выработка цитокинов начинает оказывать самостоятельное повреждающее действие на ткани.

В этих условиях развивающаяся компенсаторно-адаптационная реакция гомеостаза организма использует имеющийся у неё ресурс противодействия и блокады порочных кругов патогенеза. Одним из таких механизмов является усиление размножения бактерий или опухолевых клеток, использующих чрезмерные для организма дозы цитокина для своего роста (т.е. в качестве ростовых факторов).

Данное изменение значения и роли цитокинов и инфекции (или опухолевого процесса) приводит к снижению реактивности иммунной системы. С одной стороны, это состояние может приводить к снижению иммуноопосредованного аутоиммунного воспаления, что рассматривается положительным моментом в процессе гломерулонефрита. Но с другой стороны, поддержание инфекционного процесса в виде очага бактериальной природы может осложнять течение основного заболевания, усиливая элемент насущной необходимости удаления у пациента поражённой почки.

Парность почек может приводить к распределению патологического груза, когда в одной почке признаки иммуноопосредованного воспаления и аутоиммунного поражения снижаются, а в другой стационарируется очаг бактериального воспаления.

В силу показанных закономерностей был осуществлён анализ значения цитокинов (IL-4, 5, 6) у обследованных лиц (таблица 2). Установлено увеличение концентрации IL-4 в группе 1 в сравнении с группой 2 и 3, $p < 0,05$. Концентрация IL-5 преобладала в группе 2 относительно групп 1 и 3, и концентрация IL-6 повышалась в группе 3 в сравнении с группами 1 и 2 ($p < 0,05$).

Выявлено увеличение относительного содержания эозинофилов в группе 1 в 2 раза относительно групп 2 и 3, $p < 0,05$. Активация эозинофилов приводит к высвобождению эозинофильной пероксидазы, основного белка миелина, нейротоксина, полученного из эозинофилов, и катионных белков эозинофилов. При реакциях

гиперчувствительности эти медиаторы вызывают быстрое сужение сосудов, за которым следует повышенная проницаемость сосудов и отек. Основным белок миеллина и эозинофильный катионный белок являются высокоосновными белками, которые разрушают близлежащие клетки, такие как эпителиальные

При этом определение концентрации С-реактивного белка не выявило значимых различий в исследуемых группах, и составляло 1,07-1,25 мг/л, таблица 2. Хирамото и др. обнаружили, что у пациентов с гломерулонефритом концентрация СРБ была значительно связана с ухудшением функции почек, также Kugler и др. обнаружили, что повышенный уровень СРБ значительно повышает риск развития хронических болезней почек.

В большинстве исследований использовались два функционально связанных биомаркера IL-6 и СРБ, выработка которого в печени стимулируется IL-6. Эти молекулы легко обнаруживаются в сыворотке крови и выделяются в больших количествах во время инфекций.

Когда воспаление запускается, IL-6 высвобождается в циркуляцию (нейтрофилами и макрофагами, а также резидентными клетками в месте инфекции или повреждения), частично индуцируемыми IL-1 β и TNF- α . Одним из основных эффектов IL-6 является стимуляция выработки СРБ и других белков острой фазы (например, сывороточный амилоидный компонент Р, сывороточный амилоид А, фибриноген, ферритин) в печени и их высвобождение в кровоток. По мере повышения уровня IL-6 во время острого воспаления концентрация СРБ в плазме также резко возрастает с менее 1 мкг/мл до 1000 мкг/мл.

Таблица 2 – Зависимость проявления эффективной активности IL--4, 5 и 6 в отношении количества эозинофилов в периферической крови и С-реактивного белка у лиц с хроническим гломерулонефритом (указаны средние значения $\pm$ стандартные отклонения)

Показатели	Выборки с преобладанием в профиле цитокинов указанного цитокина			Уровень значимости
	1 (IL-4)	2 (IL-5)	3 (IL-6)	
IL-4, нг/л	0,79 $\pm$ 0,10	0,20 $\pm$ 0,05	0,32 $\pm$ 0,14	p (A-B)=0,00001 p (A-B)=0,00001 p (B-B)=0,0009
IL-5, нг/л	1,71 $\pm$ 0,38	4,05 $\pm$ 0,30	1,62 $\pm$ 0,46	p (A-B)=0,00001 p (A-B)=0,53 p (B-B)=0,000001
IL-6, нг/л	2,05 $\pm$ 0,23	2,06 $\pm$ 0,86	6,62 $\pm$ 1,39	p (A-B)=0,98 p (A-B)=0,00001 p (B-B)=0,00001
Эозинофилы, %	6,20 $\pm$ 1,52	3,60 $\pm$ 1,57	3,25 $\pm$ 1,68	p (A-B)=0,00002 p (A-B)=0,00007 p (B-B)=0,5
С-реактивный белок, мг/л	1,57 $\pm$ 0,92	1,25 $\pm$ 0,77	1,85 $\pm$ 1,63	p (A-B)=0,28 p (A-B)=0,56 p (B-B)=0,15

Закключение. При проведении исследования выявлено увеличение уровня эозинофилов в периферической крови у пациентов с хроническим гломерулонефритом с преобладанием интерлейкина-4 относительно аналогичных групп пациентов с преобладанием интерлейкинов-5 и 6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaminskyi, V.Ya. The significance of hereditary factor in the development of chronic kidney disease (glomerulonephritis) / V.Ya. Kaminskyi // Семейная медицина. – 2019. – V. 83. – № 3. – P. 20 – 25.
2. Cianciolo, R.E. Glomerulonephritis in Animal Models and Human Medicine: Discovery, Pathogenesis, and Diagnostics / R.E. Cianciolo, C. Jennette // Toxicologic Pathology. – 2018. – V. 46. – № 8. – P. 898 – 903.

ОТКРЫТЫЙ АРТЕРИАЛЬНЫЙ ПРОТОК У НОВОРОЖДЁННЫХ PATENT DUCTUS ARTERIOSUS IN NEWBORNS

Н. Кокорина^{1,2}, А. Ершова-Павлова³, Е. Железная^{1,2}

N. Kokorina^{1,2}, A. Ershova-Pavlova³, E. Zheleznaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
nadezhda.kokorina@iseu.by, helenagel2017@gmail.com

³Республиканский научно-практический центр «Мать и дитя»
г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEU BSU

³Republican Scientific and Practical Center «Mother and Child»
Minsk, Republic of Belarus

Открытый артериальный проток в постнатальном периоде – это врождённый порок сердца, который характеризуется наличием постоянного сообщения между двумя основными кровеносными сосудами, идущими от сердца: легочным стволом и нисходящей аортой [1].

Частота встречаемости открытого артериального протока у новорождённых в Республике Беларусь составляет порядка 10 % всех пороков сердца. При осложнённом течении открытого артериального протока возможно присоединение легочной гипертензии, сердечной недостаточности, инфекционного эндокардита, нарушения гемодинамики, легочного кровотечения, почечной недостаточности, что может привести к неблагоприятному исходу. Постнатальная адаптация у детей с ОАП осложняется поражением других органов и систем [2, 4].

A patent ductus arteriosus in the postnatal period is a congenital heart disease characterized by the presence of constant communication between the two main blood vessels from the heart: the pulmonary trunk and the descending aorta.

The incidence of patent ductus arteriosus in newborns in the Republic of Belarus is about 10% of all heart defects. With a complicated course of patent ductus arteriosus, pulmonary hypertension, heart failure, infective endocarditis, hemodynamic disturbances, pulmonary hemorrhage, renal failure are possible, which can lead to an unfavorable outcome. Postnatal adaptation in children with PDA is complicated by damage to other organs and systems.

Ключевые слова: открытый артериальный проток, легочная вена, аорта, новорождённые.

Keywords: patent ductus arteriosus, pulmonary vein, aorta, newborns.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-28-31>

В ходе работы исследовалась медицинская документация плодов и новорождённых детей с врожденными пороками сердца (ВПС), включающими открытый артериальный проток (ОАП). В исследования включены 108 случаев ОАП (изолированные и в составе ВПС) по данным архива РНПЦ «Мать и дитя» за период 2016–2020 года.

Всего за период 2016–2020 гг. в городе Минске было зафиксировано 108 случаев детей с ОАП. В 2016 году было зарегистрировано 29 случаев ОАП, что составило 0,13% от общего числа родившихся детей, в 2017 – 25 (0,13%), в 2018 – 21 (0,12%), в 2019 – 21 (0,12%) , в 2020 – 12 (0,08%) (Табл. 1).

Таблица 1 – Динамика открытого артериального протока за 2016–2020 гг. в городе Минске

Исследуемый год	Число родившихся детей в г. Минске (в том числе мёртворождённых)	Коэффициент рождаемости	Число случаев ОАП	Процент случаев ОАП
2016	22341	11,4	29	0,13%
2017	19527	9,9	25	0,13%
2018	17601	8,9	21	0,12%
2019	15900	8	21	0,13%
2020	14540	7,25	12	0,08%

Таким образом, частота случаев ОАП была стабильна на протяжении всего периода исследования за исключением 2020 года (12 случаев – 0,08%), когда число зарегистрированных пороков было наименьшее. Наибольшее количество детей, рождённых с ОАП, было зарегистрировано в 2016 году – 29 случаев из 108 (26,85%), наименьшее – в 2020 году – 12 случаев (11,12%).

При изучении материнского анамнеза установлено, что у 21 (20,0%) беременной возраст составил 21–25 лет; у 41 (37,96%) беременной – от 26 до 30 лет; у 29 (26,85%) – 31–35 лет; у 3 беременных (2,86%) – старше 40 лет. Возраст до 20 лет наблюдался в единичном случае в 2017 году (0,93%) (Рис. 1).

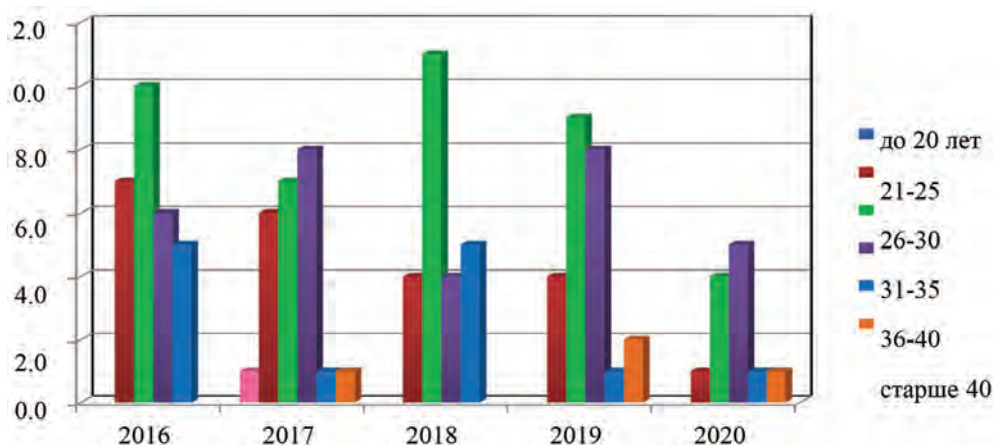


Рисунок 1 – Распределение матерей по возрастному составу

Таким образом, выявлено, что ОАП чаще всего регистрировался у женщин периода среднего репродуктивного возраста (от 26 до 35 лет – 64,81%).

С целью изучения возможных факторов риска развития открытого артериального протока был изучен материнский анамнез 108 женщин за период с 2016 по 2020 гг. У 19 (17,59%) женщин выявлено наличие потенциальных факторов риска в профессиональной деятельности: контакт с химическими веществами до и во время беременности, воздействие шума и вибрации, облучение ЭВМ. Никотиновая зависимость отмечалась у 6 (5,56%) беременных женщин, использование медикаментозных препаратов – у 13 (12,03%).

При изучении соматического анамнеза матери установлено, что у 51 (47,23%) женщины во время беременности отмечались перенесенные вирусные и бактериальные инфекции. Так, 41 (37,96%) женщина перенесла ОРЗ / ГРИПП; 6 (5,56%) женщин – ветряную оспу; 3 (2,78%) – пиелонефрит; 1 (0,93%) – гайморит.

При изучении соматического анамнеза матери установлено, что у 51 (47,23%) женщин во время беременности отмечались перенесенные вирусные и бактериальные инфекции. Так, 41 (37,96%) женщина перенесла ОРЗ / ГРИПП; 6 (5,56%) женщин – ветряную оспу; 3 (2,78%) – пиелонефрит; 1 (0,93%) – гайморит.

У 46 (42,59%) женщин отмечалась хроническая соматическая патология: 9 (8,34%) случаев – миопия; 8 (7,4%) – наследственная тромбофилия; 7 (6,48%) – сердечно-сосудистая патология; 6 (5,56%) – гипотиреоз; 6 (5,56%) – хроническая почечная недостаточность; 6 (5,56%) – хронический тонзиллит; 3 (2,78%) – хронический гастрит; 2 (1,85%) – ожирение; 2 (1,85%) – хронический цервицит; 2 (1,85%) – хронический тиреоидит; 1 (0,93%) – гепатит В; 1 (0,93%) – уроплазмоз; 1 (0,93%) – гастроэнтерит; 1 (0,93%) – хронический гломерулонефрит.

Таким образом, у большинства женщин отмечалась хроническая соматическая (45,29%) и инфекционная (47,23 %) патология.

При анализе акушерско-гинекологического анамнеза, установлено, что у 25 (23,15%) женщин беременность протекала на фоне анемии; у 25 (23,15%) – на фоне кольпита; у 5 (4,63%) – хронической гипоксии плода; у 3 (2,78%) – кандидоза; у 3 (2,78%) – эрозии шейки матки; у 3 (2,78%) – миомы матки. Течение беременности осложнилось многоводием у 3 (2,78%) женщин, маловодием – у 2 (1,85%); угрозой прерывания в ранние сроки беременности – у 4 (3,7%) женщин.

Таким образом, установлено, что в 75 (71, 43%) случаях отмечался осложненный гинекологический и акушерский анамнез: в 17,59% случаев отмечалось наличие профессиональной вредности, в 5,56% случаев – никотиновой зависимости, использование медикаментозных препаратов в первом триместре беременности в 12,03% случаев, перенесенные вирусные и бактериальные инфекции в раннем гестационном периоде в 47,23% случаев (Рис. 2).

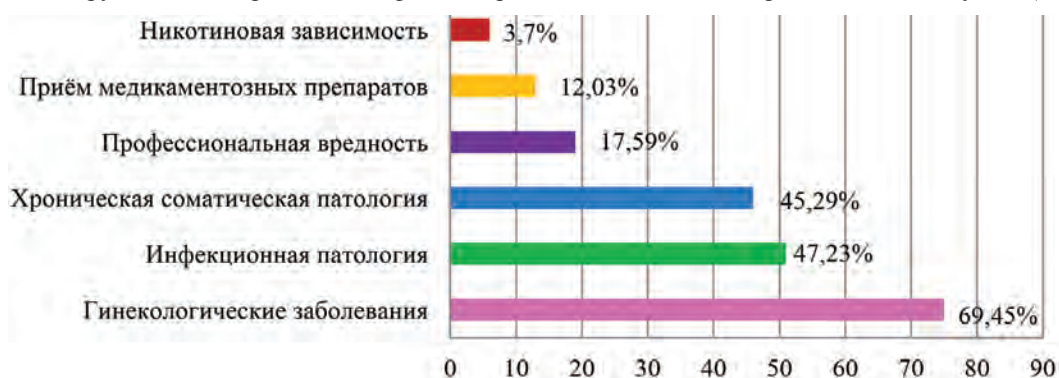


Рисунок 2 – Потенциальные факторы риска развития открытого артериального протока

Перечисленные неблагоприятные факторы, обладающие токсическим действием на организм матери и плода, могли явиться причиной развития данного порока [2, 3].

При анализе исходов беременности установлено, что в 97 89,8% случаях беременность закончилась срочными родами; в 7 (6,48%) случаях – преждевременными; в 4 (3,7%) случаях – спонтанными абортми в ранние сроки беременности.

При изучении структуры множественных врождённых пороков сердца, сочетанных с ОАП, установлено, что наиболее часто встречалось открытое овальное окно (ООО) – 58 (53,7%) случаев; дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП) – 57 (52,78%) случаев; дефект межпредсердной перегородки – 30 (27,78%) случаев; дополнительная хорда левого желудочка – 8 (7,4%); коарктация аорты – 7 (6,48%); гипоплазия аорты – 6 (5,56%); стеноз аорты – 5 (4,63%); общий артериальный ствол – 4 (3,7%) (Рис. 3).

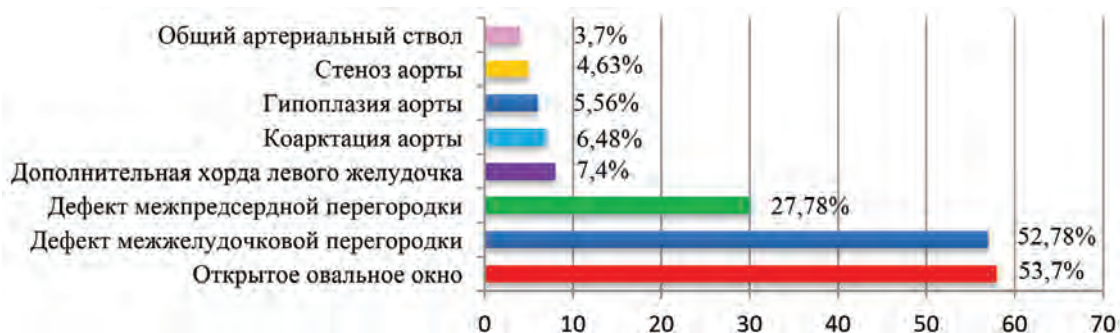


Рисунок 3 – Структура множественных пороков сердца в сочетании с ОАП

Таким образом, множественные пороки сердца в сочетании с ОАП встречались в 89,8% случаев; изолированный ОАП – в 10,19% случаев.

В ходе работы был проведён расчёт популяционной частоты встречаемости ОАП за период 2016–2020 гг. в городе Минске.

Установлено, что популяционная частота открытого артериального протока в 2016 году составила 1,3‰; в 2017 году – 1,3‰; в 2018 году – 1,2‰; в 2019 году – 1,2‰; в 2020 году – 0,8‰ (Табл. 2).

Таблица 2 – Популяционная частота открытого артериального протока в городе Минске

Исследуемый год	Число случаев ОАП	Популяционная частота
2016	29	1,3‰
2017	25	1,3‰
2018	21	1,2‰
2019	21	1,3‰
2020	12	0,8‰

Установлено, что средняя популяционная частота ОАП за весь исследуемый период составила 1,18‰, частота открытого артериального протока в структуре множественных ВПС в сочетании с ОАП – 7‰; частота ОАП в структуре декомпенсированных врождённых пороков сердца – 4‰.

Таким образом, в ходе проведенного исследования было установлено:

1. Всего за период 2016 – 2020 гг. в городе Минске было зафиксировано 108 случаев детей с ОАП.
2. При исследовании гендерной принадлежности в 65 (60,2%) случаях у новорождённых с ОАП был женский пол, в 43 (39,8%) – мужской.
3. В 64 (59,26%) случаях во время беременности отмечались перенесенные вирусные и бактериальные инфекции, в 13 (12,03%) – приём лекарственных средств во время беременности, в 17 (15,74%) – выявлено наличие потенциальных факторов риска в профессиональной деятельности, в 4 (3,7%) – никотиновая зависимость.
4. В 97 89,8% случаях беременность закончилась срочными родами; в 7 (6,48%) случаях – преждевременными; в 4 (3,7%) случаях – спонтанными абортми в ранние сроки беременности
5. Множественные пороки сердца в сочетании с ОАП встречались в 89,8% случаев; изолированный ОАП – в 10,19% случаев
6. Преобладающим сочетанным с ОАП пороком сердца явилось открытое овальное окно (ООО) – 58 (53,7%) среди ОАП; дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП) – 57 случаев (52,78%).
7. У 6 (5,56%) детей с ОАП отмечалась сочетанная врождённая патология: синдром Дауна – 4 случая (3,7%), синдром Ди Джорджи – 1 случай (0,93%), синдром Видемана-Беквита – 1 случай (0,93%).
8. Популяционная частота открытого артериального протока в 2016 году составила 1,3‰; в 2017 году – 1,3‰; в 2018 году – 1,2‰; в 2019 году – 1,2‰; в 2020 году – 0,8‰. Средняя популяционная частота ОАП за весь исследуемый период составила 1,18‰.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов, Ю. А. Хирургические болезни детей. Национальное руководство / Ю. А. Козлов, В. А. Новожилов, А. Ю. Разумовский // ГЭОТАР-Медиа, – Москва, 2019. – С. 203–205.
2. Калашникова, Е. А. Открытый артериальный проток: особенности ранней неонатальной, постнатальной диагностики, клинической манифестации, лечение и прогноз / Е. А. Калашникова, Н. А. Никитина // Здоровье ребёнка. – 2017. – N. 2 – P. 171–75.
3. Bentiz, W. E. Patent ductus arteriosus in preterm infants / W. E. Bentiz / Pediatrics. – 2016, Jan. – V. 137, N. 1 – P. 110–116.
4. Deshpande, P. Patent ductus arteriosus: The physiology of transition / P. Deshpande [et al.] // Semin Fetal Neonatal Med. – 2018, Aug. – N. 4 – P. 225–231.

АНТИРЕТРОВИРУСНЫЕ ПРЕПАРАТЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИНГИБИТОРЫ SARS-COV-2 M^{pro}

ANTIRETROVIRAL DRUGS AS POTENTIAL INHIBITORS OF SARS-COV-2 M^{pro}

А. П. Сидорова^{1,2}, А. В. Бакунович^{1,2}

A. Sidorova^{1,2}, A. Bakunovich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kbb@iseu.by, apelsincocos@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Ритонавир, нелфинавир и лопинавир представляют собой группу ингибиторов протеаз. Эти ингибиторы широко используются в сочетании с другими ингибиторами протеаз в терапии и профилактике вируса иммунодефицита человека. Также комбинация этих ингибиторов представляется эффективным терапевтическим средством, которое способно воздействовать на основную протеазу M^{pro} коронавируса и, таким образом, обеспечить длительное подавление вирусной нагрузки при заболевании тяжелого острого респираторного синдрома, вызванного коронавирусом 2 (SARS-CoV-2).

Ritonavir, nelfinavir and lopinavir are a group of protease inhibitors. These inhibitors are widely used in combination with other protease inhibitors in the therapy and prevention of human immunodeficiency virus. Also, the combination of these inhibitors seems to be an effective therapeutic agent that can affect the main protease of M^{pro} coronavirus and, thus, provide long-term suppression of viral load in the disease of severe acute respiratory syndrome caused by coronavirus 2 (SARS-CoV-2).

Ключевые слова: ингибитор, протеаза M^{pro}, коронавирус, SARS-CoV-2.

Keywords: inhibitor, protease M^{pro}, coronavirus, SARS-CoV-2.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-31-34>

Пандемия нового тяжелого острого респираторного синдрома, вызванная коронавирусом 2 (SARS-CoV-2) представляет серьезную угрозу для мира во многих аспектах. Структурные исследования позволили понять молекулярную основу многих белков SARS-CoV-2 и быстро продвинуться в направлении лечения и профилактической терапии [1].

Протеазы играют решающую роль в созревании вирусных белков, очищая пропротеины после их трансляции в цитозоль клетки-хозяина. В результате вирусные протеазы часто являются потенциальными мишенями для лекарств. Ингибирование вирусной протеазы может уменьшить сборку зрелых вирусных частиц.

Основная протеаза коронавирусов M^{pro} является потенциальной мишенью для лекарств, поскольку она отвечает за созревание самого себя и других важных полипротеинов. Кроме того, он играет важную роль в проникновении вируса в клетки-хозяева, где ингибирование этого фермента останавливает проникновение вируса и последующее инфицирование. Эти важные функции фермента вирусной протеазы сами по себе являются интересной терапевтической мишенью для сдерживания заболеваний, вызванных SARS-CoV-2. Повышенная активность, наблюдаемая в SARS-CoV-2 M^{pro}, свидетельствует о том, что его можно использовать в качестве потенциальной мишени для лекарственных препаратов.

M^{pro} является цистеиновой протеазой и играет ведущую роль в цикле репликации всех коронавирусов. Она опосредует расщепление полипротеинов при созревании во время репликации вируса. Протеаза M^{pro} представляет собой гомодимер, содержащий по два протомера, каждый из которых включает три домена (домены I, II и III). Между доменами I и II находится каталитическая диада Cys-His, которая вместе с N-концевыми остатками с 1 по 7 играет жизненно важную роль в протеолитической активности. Сайт связывания субстрата расположен в щели между доменами I и II, а протомеры, которые связываются друг с другом через N-концевые остатки 1-7, расположены между доменами II и III и играют роль в формировании сайта связывания субстрата. Участок для связывания субстрата состоит из четырех субъединиц, а именно S1', S1, S2 и S3 [2].

Ритонавир, нелфинавир и лопинавир представляют собой группу ингибиторов протеаз. Данные ингибиторы широко используются в терапии и профилактике вируса иммунодефицита человека (ВИЧ). Ингибиторы протеаз предотвращают репликацию вируса, избирательно связываясь с вирусными протеазами и блокируя протеолитическое расщепление белков-предшественников, которые необходимы для производства инфекционных вирусных частиц.

Ритонавир является высокоактивным антиретровирусным ингибитором протеазы, который показан для лечения и профилактики инфекции вируса иммунодефицита человека (ВИЧ) и синдрома приобретенного иммунодефицита (СПИД) в комплексе с другими антиретровирусными препаратами (рис. 1). Являясь пептидомиметическим ингибитором протеазы ВИЧ, ритонавир действует путем связывания с каталитическим сайтом вирусной протеазы, тем самым предотвращая расщепление белков-предшественников, необходимых для репликации вирусных частиц. В медицинской практике, ритонавир часто используется в виде комбинации с другим ингибитором протеазы – лопинавиром [3].

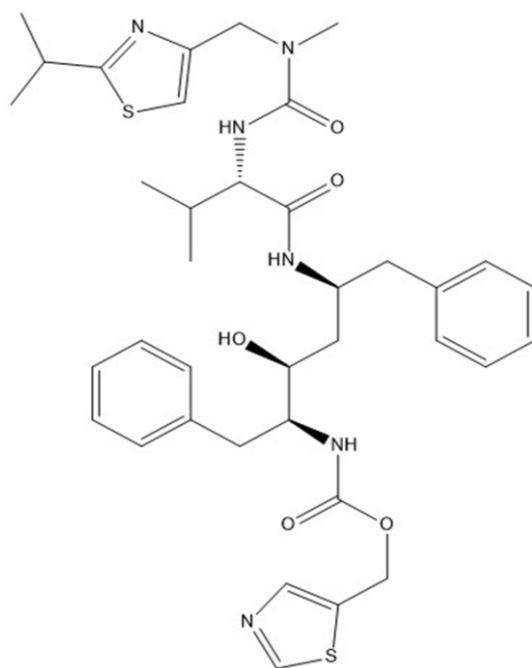


Рисунок 1 – Структурная формула ритонавира

Лопинавир – новый препарат класса ингибиторов протеазы, структурно родственный ритонавиру (рис. 2). Лопинавир препятствует синтезу вирусных белков, что приводит к формированию незрелого и неспособного к инфицированию вируса. Комбинация лопинавира и ритонавира, коммерчески известного под названием Калетра, представляет собой эффективное терапевтическое средство, обеспечивающее адекватное и длительное подавление вирусной нагрузки при заболевании вирусом иммунодефицита человека и синдромом приобретенного иммунодефицита. При совместном введении этих двух соединений используется низкая дозировка ритонавира, который ингибирует фермент печени цитохром P450-3A4. Вследствие чего повышается концентрация в плазме крови лопинавира, метаболизм которого опосредован этим ферментом. При этом, на лопинавир меньше влияет связывание с белками сыворотки, чем на родственный по структуре ритонавир [3].

Нелфинавир – синтетический противовирусный препарат из группы ингибиторов протеазы (рис. 3). Этот препарат представляет собой пероральный биодоступный ингибитор протеазы ВИЧ-1, который широко назначается в сочетании с ингибиторами обратной транскриптазы ВИЧ для лечения ВИЧ-инфекции. Нелфинавир ингибирует ретровирусную аспарагиновую протеазу, которая расщепляет молекулы вирусного белка на более мелкие фрагменты, обуславливает репликацию вируса внутри клетки и необходима для высвобождения зрелых вирусных частиц из инфицированной клетки. В результате этого взаимодействия нелфинавир плотно связывается с вирусной протеазой и препятствует образованию вирулентной частицы. Однако в настоящее время, нелфинавир широко заменяется ингибиторами протеазы ВИЧ нового поколения, особенно теми, которые можно усилить ритонавиром [4].

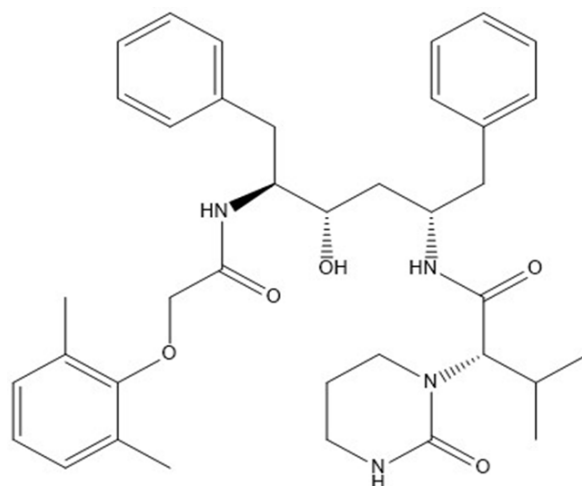


Рисунок 2 – Структурная формула лопинавира

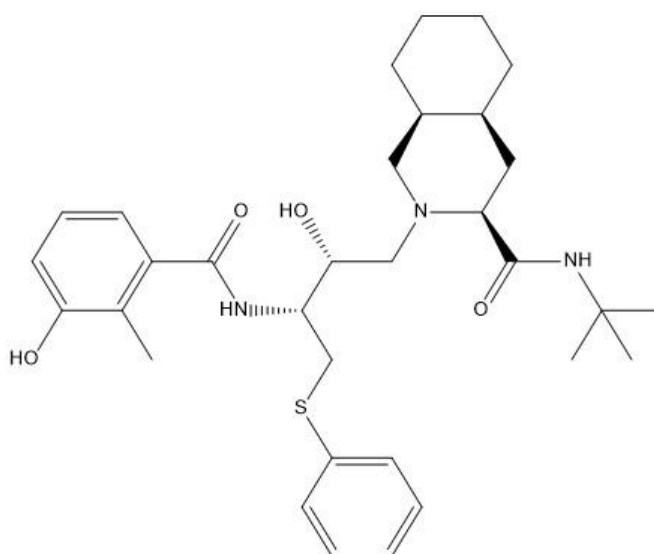


Рисунок 3 – Структурная формула нелфинавира

В настоящее время молекулярное моделирование является недорогим и надежным способом выбора и сравнения различных соединений и взаимодействий между ними, что позволяет минимизировать затраты при разработке новых лекарственных средств. При проведении молекулярного моделирования использовали 3D структуру основной протеазы SARS-COV-2 M^{pro} (PDB 7AOL). Для устранения недочетов моделей молекул лигандов выполнялся расчет минимизации энергии в среде MM2 до достижения глобального минимума полной энергии. Для предсказания сайтов связывания антиретровирусных препаратов с протеазой M^{pro} использовали онлайн-ресурс PrankWeb. Эта платформа способна делать прогнозы, оценивая и группируя точки на доступной для растворителя поверхности белка. Точки с высокой оценкой группируются с образованием результирующих сайтов связывания лиганда с рецептором. Так, с помощью инструмента PrankWeb для протеазы M^{pro} было предсказано 7 сайтов связывания лигандов, которые ранжируются по активности и вероятности связывания.

Молекулярный докинг лопинавира, нелфинавира и ритонавира производили в активном сайте с самым высоким рангом, который образован 18 аминокислотами: PHE 140, LEU 141, ASN 142, GLU 143, CYS 145, HIS 163, HIS 164, MET 165, GLU 166, GLN 189, THR 25, THR 26, LEU 27, HIS 41, CYS 44, THR 45, SER 46, MET 49.

Моделирование комплексов белок-лиганд осуществлялось с помощью пакета 1-Click Docking сервера MCULE. Эта онлайн-платформа для поиска лекарств предоставляет базу данных высококачественных соединений и инструменты молекулярного моделирования. Инструмент 1-Click Docking рассчитал четыре возможных варианта размещения для каждого лиганда в активном центре протеазы M^{pro}. Лучшую модель комплекса лиганд-белок для каждого соединения рассмотрели в Molegro Virtual Docker (MVD). MVD – это интегрированная платформа для изучения и предсказания того, как лиганды взаимодействуют с макромолекулами. Идентификация способов связывания лиганда осуществляется путем оценки количества возможных конформаций лиганда и оценки энергии их взаимодействия с макромолекулой.

В результате проведенных исследований обнаружено, что ритонавир способен образовывать водородные связи с THR 25 и SER 46. Стерические взаимодействия наблюдаются с 25 аминокислотами: THR 190, LEU 167, ARG 188, GLN 192, SER 168, PRO 168, ASN 142, LEU 141, GLU 166, HIS 164, HIS 163, CYS 145, MET 165, MET 49, HIS 41, THR 25, THR 24, THR 45, CYS 44, SER 46, LEU 27, GLN 189, ASN 119, THR 26, GLU 143.

Моделирование комплексов лопинавира с протеазой M^{pro} показал формирование водородных связей лиганда с SER 46, GLN 189 и HIS 41 молекулы белка. А стерические взаимодействия образуются с 22 аминокислотами: GLN 189, THR 45, HIS 41, THR 26, THR 25, LEU 27, CYS 44, VAL 42, THR 24, GLY 143, LEU 167, PRO 168, GLU 166, ASN 142, MET 165, ARG 188, HIS 163, MET 49, HIS 164, CYS 145, LEU 141, SER 46.

Молекулярный докинг нелфинавира показал образование водородных связей с GLU 166, SER 46 и GLN 189. Стерические взаимодействия наблюдаются с 17 аминокислотами: PHE 140, SER 46, SER 144, HIS 163, LEU 141, HIS 164, GLU 166, GLY 143, CYS 145, HIS 41, LEU 27, THR 25, MET 165, THR 26, GLN 189, ASN 142, MET 49.

Путем визуализации полученных моделей и оценки связей между лигандами и протеазой M^{pro} были получены данные, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка взаимодействия лигандов с протеазой M^{pro}

	Лопинавир	Нелфинавир	Ритонавир
Общая энергия оптимизированной молекулы (ккал/моль)	9,236	21,88	30,13
Энергия водородных связей и сильных электростатических взаимодействий (Дж)	-2,21	-2,5	-0,157
Энергия взаимодействия рецептора с лигандом (Дж)	-158,184	-145,728	-168,741
Общая энергия системы (Дж)	-138,722	-145,536	-174,954

Полученные результаты свидетельствуют, что все соединения способны образовывать комплексы с протеазой M^{pro}. При этом наименьшей энергией связывания обладает ритонавир, что может свидетельствовать об образовании наиболее устойчивого комплекса. Таким образом, представляется, что комбинация вышеперечисленных антиретровирусных препаратов может служить эффективным терапевтическим средством, которое, путем воздействия на основную протеазу M^{pro} коронавируса, обеспечит длительное подавление вирусной нагрузки при заболевании тяжелого острого респираторного синдрома, вызванного SARS-CoV-2.

REFERENCES

1. Wang, M. SARS-CoV-2: Structure, Biology, and Structure-Based Therapeutics Development / M. Wang [et al.] // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. – 2020. – V. 11. № 587269.
2. Rut, W. SARS-CoV-2 M^{pro} inhibitors and activity-based probes for patient-sample imaging / W. Rut [et al.] // Nature Chemical Biology. – 2021. – V. 17. – P. 222-228.
3. Magro, P. Lopinavir/ritonavir: Repurposing an old drug for HIV infection in COVID-19 treatment / P. Magro [et al.] // Biomedical Journal. – 2021. – V. 44. № 1. – P. 43–53.
4. Bolcato, G. Targeting the coronavirus SARS-CoV-2: computational insights into the mechanism of action of the protease inhibitors lopinavir, ritonavir and nelfinavir / G. Bolcato [et al.] // Scientific Reports. – 2020. – V. 10. № 20. – P. 64–72.

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ НАРУШЕНИЙ И ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНА ЗРЕНИЯ СРЕДИ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ Г. МОГИЛЁВА ANALYSIS OF THE PREVALENCE OF VISUAL ORGAN DISORDERS AND DISEASES AMONG THE CHILDREN'S POPULATION OF MOGILEV

Н. Е. Порада^{1,2}, Д. Д. Ласевич^{1,2}

N. Porada^{1,2}, D. Lasevich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ), г. Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by, danlasevich@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Зрение является одним из основных показателей здоровья ребенка. Заболеваемость детей с патологией органа зрения имеет устойчивую тенденцию к росту. Первичная заболеваемость детей в Республике Беларусь болезнями глаза и его придаточного аппарата сохраняется на высоком уровне, и в 2019 г. составила 5525,5 на 100 000 детского населения (2018 г. – 5 598,6 ‰) [2]. В настоящее время патология органа зрения рассматривается как особая медико-социальная проблема. В работе проанализирована заболеваемость детского населения г. Могилева болезнями органа зрения в целом и отдельными нозологическими формами. Проведен анализ динамики и выявлены основные тенденции в период 2015–2019 гг.

Vision is one of the main indicators of a child's health. Currently, the incidence of children with visual organ pathology has a steady upward trend [1]. The primary morbidity of children in the Republic of Belarus with diseases of the eye and its accessory apparatus remains at a high level and in 2019 amounted to 5525.5 per 100,000 children (2018 – 5,598.6 ‰). Hence, the pathology of the organ of vision is considered today as a special medical and social problem. The paper analyzes the morbidity of the children's population of Mogilev with diseases of the visual organ as a whole and individual nosological forms. The analysis of dynamics is carried out and the main trends in the period 2015–2019 are revealed.

Ключевые слова: заболеваемость, динамика, тенденция, патология органа зрения, миопия, травма глаза, косоглазие, новообразования.

Keywords: morbidity, dynamics, tendency, pathology of the organ of vision, myopia, eye injuries, strabismus, neoplasms.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-34-38>

Распространенность болезней глаз и состояние остроты зрения являются важными социально-гигиеническими показателями здоровья населения [4]. Во всем мире 2,2 миллиарда человек живут с той или иной формой нарушения зрения или слепотой, из них, как минимум 1 миллиард человек, страдает нарушениями зрения, которые можно было бы предотвратить или устранить. Снижение остроты зрения возникает как в связи с рефракционными нарушениями, так и в результате сопутствующих патологических изменений органа зрения и общих расстройств [3,4]. Зрение является одним из основных показателей здоровья ребенка. Из общего количества людей, нуждающихся в коррекции зрения, число детей и подростков из года в год возрастает. Особого внимания требует школьный возраст, когда нагрузка на глаза резко возрастает. Согласно мировой статистике, проблемы со зрением в прогрессивных странах имеет каждый двадцатый ребенок дошкольного возраста и каждый четвертый школьник [5]. Основными причинами нарушения зрения у детей являются наследственные и врожденные заболевания, травмы, высокая нагрузка на глаза, аллергические заболевания. Уже в первом классе 4–5% детей имеют близорукость, к концу начальной школы – 6–8% , к выпускному классу – 30–32% девочек и 26–28% мальчиков имеют сниженную остроту зрения. Наиболее распространенные нарушения зрения у детей – спазм аккомодации, близорукость, дальнозоркость и астигматизм. Среди перечисленных – близорукость и спазм аккомодации встречаются чаще всего [3]. Нарушения остроты зрения у детей раннего возраста чаще всего обусловлены наследственными причинами или являются следствием патологии внутриутробного развития плода. Существует огромный перечень приобретенных факторов. Важнейший из неспецифических факторов - стресс. Установлено, что 80% школьников подвергаются в школе стрессовым перегрузкам. Интоксикация, тяжелые заболевания, травмы, психические переживания чаще в сочетании с нагрузкой на зрительный аппарат способствуют появлению и прогрессированию приобретенной близорукости. Воздействие антропогенного загрязнения на орган зрения детей может быть опосредованным и вызывать различные офтальмологические заболевания, в том числе влиять на развитие аномалий рефракции. Нарушения окислительно-восстановительных процессов в тканях глаза, изменения биохимического и микроэлементного состава, ведущие к нарушению каркасных свойств склеры, изменения аккомодационного аппарата могут быть обусловлены влиянием факторов окружающей среды, в том числе загрязнением атмосферного воздуха. По данным ВОЗ, можно предотвратить до 50% детского слабо зрения и слепоты из-за близорукости [3,4].

На основании отчетных данных офтальмологического отделения Могилевской ЦРБ и численности обслуживаемого детского населения были рассчитаны показатели и проведен анализ госпитализированной заболеваемости детского населения г. Могилева болезнями глаза в целом и по отдельным формам патологии. Среди нарушений и болезней глаза и его придаточного аппарата были рассмотрены многолетняя динамика заболеваемости детей миопией, травмами глаза, воспалительными заболеваниями глаза, заболеваниями слезных путей, косоглазием, новообразованиями в период 2015–2019 гг. Был использован метод анализа многолетней динамики заболеваемости населения с определением показателя тенденции (A_1), среднегодового показателя заболеваемости (A_0), коэффициента детерминированности (R^2), проведен сравнительный анализ показателей в двух совокупностях на достоверность различий [1].

Проведенный анализ госпитализированной заболеваемости детского населения г. Могилева болезнями органов зрения в период с 2015 по 2019 гг. выявил выраженную направленность тенденции к снижению ($R^2=0,73$). Ежегодный показатель тенденций (A_1) имеет отрицательное значение и равен - 2,36 случаев заболеваний на 10000 детского населения. Среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составил 98,4 случаев заболеваний на 10000 детей. В рассматриваемые годы заболеваемость уменьшилась с уровня 101,2 ‰ в 2015 г. до 94,5 ‰ в 2019 г. или на 6,6%.

Были рассчитаны экстенсивные показатели и проведен структурный анализ заболеваемости детского населения болезнями органов зрения по часто регистрируемым нозологическим формам патологии органа зрения. Первое ранговое место занимала миопия, удельный вес которой за период наблюдения составил в среднем 35,43% всех заболеваний глаза. На долю поражений слезных путей приходилось 24,85% всех заболеваний, травмы глаза составили 9,85%. Далее структурное распределение выглядело следующим образом в порядке убывания: воспалительные заболевания органа зрения – 7,84%, косоглазие – 6,9%, новообразования – 2,6%. Удельный вес прочих форм патологии, куда были отнесены гиперметропия, астигматизм, увеит, дермоидная киста орбиты, заболевания сетчатки и зрительного нерва, кератит, глаукома, птоз, гемофтальм, наличие имплантов, ретинопатия недоношенных составил в сумме 12,44%. За рассматриваемый период существенных изменений в структуре заболеваемости по нозологическим формам не наблюдалось.

Анализ заболеваемости по значимым формам патологии органа зрения и зрительной функции не выявил направленность тенденции в динамике показателей госпитализированной заболеваемости детского населения г. Могилева миопией в 2015–2019 гг. Коэффициент детерминированности R^2 составил 0,18. Однако в 2015–2017 гг. четко просматривается устойчивая тенденция к увеличению заболеваемости (R^2 0,94). В отмеченные годы показатели заболеваемости миопией увеличились с 34,6 ‰ в 2015 г. до 36,3 ‰ в 2017 г. или на 5,0 %. В последующем с 2017 по 2019 гг. было отмечено снижение заболеваемости (R^2 0,93) на 10% с 36,3 ‰ в 2017 г. до 32,7 ‰ в 2019 г. В целом среднегодовой показатель госпитализированной заболеваемости (A_0) детей г. Могилева миопией за пятилетний период составил 34,8 случаев заболеваний на 10000 детского населения. Показатели заболеваемости уменьшились с 34,6 ‰ в 2015 г. до 32,7 ‰ в 2019 г. или на 5,5 %.

Не выявлена направленность тенденции в динамике показателей заболеваемости детского населения травмами и воспалительными процессами органа зрения. Среднегодовой показатель частоты травм глаза (A_0) составил 9,68 случаев на 10000 детского населения. За рассматриваемый период травмы глаз увеличились с 8,01 ‰ в 2015 г. до 10,75 ‰ в 2019 г. или на 34,2 %. Среднее значение темпа прироста $T_{пр}$ составило 9,75%. Уровень заболеваемости детей воспалительными процессами глаза был несколько ниже и составил в среднем (A_0) 7,7 случаев на 10000 детского населения. Показатели частоты воспалений органа зрения в конце исследования по отношению к начальному году практически не изменились и остались на одном уровне: 8,46 ‰ и 8,76 ‰ соответственно. Среднегодовое значение темпа прироста $T_{пр}$ отрицательное - 2,63%.

В динамике заболеваемости детского населения болезнями слезных путей выявлена устойчивая тенденция к снижению показателей. Коэффициент детерминированности R^2 равен 0,80. Показатель тенденции (A_1) -2,7 ‰. Среднегодовой уровень заболеваемости болезнями слезных путей (A_0) составил 24,4 случаев на 10000 детского населения. За рассматриваемый период показатели заболеваемости уменьшились с 31,40 ‰ в 2015 г. до 21,74 ‰ в 2019 г. или на 30,8 %. Среднегодовое значение $T_{пр}$ составило -8,12%.

Анализ заболеваемости детского населения г. Могилева косоглазием в 2015–2019 гг. не выявил определенную направленность тенденции в динамике. R^2 составил 0,06. В промежуточный период с 2015 по 2017 гг. заболеваемость детей выражено увеличивалась с 5,11 ‰ в 2015 г. до 7,88 ‰ в 2017 г. ($R^2=0,43$) или в 1,5 раза. С 2017 г. выявлено устойчивое снижение частоты случаев косоглазия у детей на 12,8 % (с 7,88 ‰ в 2017 г. до 6,87 ‰ в 2019 г.) ($R^2=0,71$). Средний показатель заболеваемости косоглазием за пятилетний период A_0 равен 6,8 случаев на 10000 детского населения. В целом показатели заболеваемости увеличились с 5,11 ‰ в 2015 г. до 6,87 ‰ в 2019 г. или на 34,4 %.

Слабая тенденция к снижению выявлена в динамике показателей заболеваемости детского населения новообразованиями зрительного анализатора. Коэффициент детерминированности R^2 составил 0,4. Показатель тенденции A_1 в этом случае составил -0,74 ‰. Среднегодовой показатель заболеваемости новообразованиями за пять лет A_0 был на уровне 2,6 случаев на 10000 детского населения. За рассматриваемый период частота новообразований глаза у детей уменьшились в 2,4 раза с 5,81 ‰ в 2015 г. до 2,44 ‰ в 2019 г. Среднегодовое значение $T_{пр}$ составило -3%.

По итогам анализа была проведена количественная оценка показателей госпитализированной заболеваемости рассмотренными формами нарушений и заболеваний органа зрения у детей г. Могилева по данным офтальмологического отделения Могилевской ЦРБ. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели количественной оценки заболеваемости детей г. Могилева болезнями глаза и его придаточного аппарата по нозологическим формам патологии в 2015–2019 гг.

Формы патологии	Заболеваемость		R^2	Направленность тенденции
	A_0 , ‰	A_1 , ‰		
Заболеваемость болезнями глаза, в т. ч.	98,4	- 2,36	0,73	Снижение
Миопия	34,8	-0,36	0,18	Не определена
Травмы глаза	9,68	0,32	0,14	Не определена
Воспалительные заболевания	7,7	- 0,01	0,0002	Не определена
Заболевания слезных путей	24,4	-2,7	0,80	Снижение
Косоглазие	6,8	0,18	0,06	Не определена
Новообразования	2,6	-0,74	0,4	Снижение

Как видно из таблицы 1, по данным офтальмологического отделения Центральной районной больницы г. Могилева среди детского населения наибольшее распространение имели такие формы патологии зрения как миопия, болезни слезных путей и травмы глаза. Направленность к снижению выявлена в анализируемый период только в динамике госпитализированной заболеваемости детей болезнями слезных путей. Уровень частоты воспалительных заболеваний глаза и новообразований ниже остальных форм патологии, но в динамике заболеваемости детей новообразованиями органа зрения отмечена тенденция к снижению.

Была проведена оценка достоверности показателей заболеваемости детского населения болезнями глаза в конце изучаемого периода по отношению к начальному году исследования (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка достоверности различий показателей госпитализированной заболеваемости детей г. Могилева болезнями глаза в 2015 и 2019 гг.

Формы патологии	Показатель заболеваемости на 10000 детского населения $\pm m$		t 2019/2015
	2015 г.	2019 г.	
Заболеваемость болезнями глаза, в т. ч.	101,2 $\pm$ 2,21	94,5 $\pm$ 2,15	2,2
Миопия	34,6 $\pm$ 1,36	32,7 $\pm$ 1,27	1,05
Травмы глаза	8,01 $\pm$ 0,66	10,75 $\pm$ 0,73	2,8
Воспалительные заболевания	8,76 $\pm$ 0,69	7,46 $\pm$ 0,65	1,4
Заболевания слезных путей	31,40 $\pm$ 1,30	21,74 $\pm$ 1,04	5,7
Косоглазие	5,11 $\pm$ 0,52	6,87 $\pm$ 0,58	2,28
Новообразования	5,81 $\pm$ 0,56	2,44 $\pm$ 0,35	5,2

Статистически значимые различия показателей в конце изучаемого периода по отношению к начальному году исследования выявлены в заболеваемости детей болезнями глаза в целом, травмами глаза, болезнями слезных путей, косоглазием и новообразованиями (таблица 2).

Различия показателей заболеваемости детей миопией и воспалительными заболеваниями органа зрения в конце изучаемого периода по отношению к начальному году исследования статистически не значимы (таблица 2).

Используя различные методики аппаратного лечения (магнитотерапия, видеокomпьютерная коррекция, лазерная терапия), в детском возрасте часть патологических состояний органа зрения можно исправить, а в самых сложных случаях замедлить прогрессирование заболевания. В сложных случаях для сохранения зрения детям требуется хирургическое лечение.

Был проведен структурный анализ заболеваемости детского населения болезнями органов зрения по наиболее часто регистрируемым нозологическим формам, тяжесть течения которых требовала хирургического вмешательства.

В 2018 г. в структуре хирургических операций с использованием оптических систем наибольший удельный вес приходился на операции по поводу косоглазия – 65,75 % всех хирургических вмешательств. Операции по удалению новообразований глаза составили 10,96 %, на долю склеропластики приходилось 10,27 %, первичная хирургическая обработка (ПХО) ран составила 9,59 %. Прочие хирургические операции с использованием оптических систем, а именно удаление дермоидной кисты орбиты, ПХО при проникающих ранениях, реконструктивные операции на слезных каналах, составили 3,42 %.

Другой вид хирургических вмешательств при оказании помощи больным детям с нарушениями и заболеваниями органа зрения – хирургические операции без использования оптических систем. Этот вид хирургических операций чаще использовался при восстановлении проходимости слезного канала. На их долю приходилось больше половины всех проведенных оперативных вмешательств без использования оптических систем – 51,94 %, ПХО ран век и окологлазничной области составила в 2018 г. 20,08 %. Введение раствора дипроспана в область халазиона проводилось в 9% случаев, вскрытие абсцесса, флегмоны в 5 %, случаев. Прочие виды операций этой группы (удаление новообразований, удаление инородных тел, удаление контагиозных моллюсков, удаление халазионов) составили 14,3%.

Возникшие в детском возрасте нарушения зрения самостоятельно не исчезают. Установить характер отклонений и провести грамотное лечение может только высококвалифицированный специалист. Раннее выявление и коррекция глазных болезней позволяют эффективно бороться с их прогрессированием в будущем. Болезни глаза являются важными социально-гигиеническими показателями здоровья населения. Изучение распространенности нарушений зрения у детей позволит повысить качество профилактических программ и предупредить развитие сложных патологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов, А. Медицинская статистика / А. Герасимов. Мн.: МИА, 2007. 480 с. (С. 115-142).
2. Здравоохранение в Республике Беларусь / Официальный статистический сборник. – Минск: ГУ РНМБ, 2019.

3. Ерёмченко, К. Ю. Влияние некоторых внешних и внутренних факторов на течение приобретенной миопии у детей / К. Ю. Ерёмченко, Л. Е. Федорищева, Н. Н. Александрова // Рос. офтальмол. журн. – 2011. – № 1. – С. 27–30.
4. Мирская, Н.Б. Формирование здорового образа жизни как необходимое условие профилактики нарушений и заболеваний органа зрения младших школьников / Н.Б. Мирская, А.Д. Синякина, А.Н. Коломенская // Гигиена и санитария. – 2016. № 95(5). – С. 466–470.
5. Писарева А.Н. Образ жизни и поведенческие факторы риска формирования здоровья школьников / А.Н. Писарева // Медицинский альманах. – 2017. – № 2(47). – С. 49–52.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ПРИЧИН СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В 2010–2019 гг.

ANALYSIS OF THE DYNAMICS AND CAUSES OF MORTALITY OF THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN 2010–2019

Н. Е. Порада^{1,2}, А. С. Боброва^{1,2}

N. Porada^{1,2}, A. Bobrova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ), г. Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by, bobrova.nastyuha0@icloud.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Смертность представляет собой социально-биологический процесс, количественная сторона которого характеризует уровень здоровья населения [2]. Смертность населения – это показатель, отражающий эпидемиологические закономерности заболеваемости. Величина этого показателя зависит как от частоты распространения патологии среди населения, так и многих других факторов – системы организации сбора данных, доступности медицинской помощи, наличия специалистов и т.д. Уровень смертности является важным критерием здоровья населения [4]. В работе проанализирована многолетняя динамика и причины смертности населения Республики Беларусь в период 2010–2019 гг. Определены основные тенденции в смертности населения по причинам, по возрастным группам, в разрезе городского и сельского населения.

Mortality is a socio-biological process, the quantitative side of which characterizes the level of health of the population [2]. The mortality of the population is an indicator reflecting the epidemiological patterns of morbidity. The value of this indicator depends both on the frequency of the spread of pathology among the population, and many other factors – the system of organizing data collection, the availability of medical care, the availability of specialists, etc. The mortality rate is an important criterion for the health of the population [4]. The paper analyzes the long-term dynamics and causes of mortality of the population of the Republic of Belarus in the period 2010–2019. The main trends in the mortality of the population by causes, by age groups, in the context of urban and rural population are determined

Ключевые слова: смертность, причины смертности, многолетняя динамика, тенденции, структурные показатели.

Keywords: mortality, causes of mortality, long-term dynamics, trends, structural indicators.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-38-41>

Одним из демографических показателей здоровья является смертность. Уровень смертности определяется совокупностью биологических, экономических, социальных и культурных факторов при доминирующем влиянии социально-экономических факторов: благосостояния, образования, питания, жилищных условий, санитарно-гигиенического состояния населенных мест, степени развития служб здравоохранения [2]. Высокая смертность населения является одной из основных проблем в достижении демографической безопасности в республике. Правильный и своевременный анализ смертности, позволяют выявить наиболее тяжелые формы заболеваний, играющих значимую роль в структуре смертности населения, и тем самым способствует организации целенаправленной борьбы с ними. Объективная оценка здоровья населения необходима для выбора приоритетных направлений в организации оказания медицинской помощи.

В 1993 году смертность впервые превысила рождаемость. За счет превышения количества умерших над количеством родившихся страна вступила в качественно новый этап своего развития – депопуляцию. Численность населения Республики Беларусь, исчерпав накопленный ранее демографический потенциал, стала убывать. Уже более 20 лет в Республике Беларусь годовое число умерших превышает число родившихся [3]. Высокий уровень смертности является серьезной проблемой для воспроизводства населения Беларуси. Поэтому снижение смертности населения является одним из резервов в борьбе за снижение заболеваемости, повышения уровня здоровья, продления продолжительности жизни людей и ее качества, а также воспроизводства населения, т.е. рассматривается как важный социально-экономический критерий.

Работа посвящена анализу динамики смертности населения республики от отдельных причин в период с 2010 по 2019 г. Был использован метод анализа многолетней динамики смертности населения с определением показателя тенденции (A_1), среднегодового показателя смертности (A_0), коэффициента детерминированности (R^2), проведен сравнительный анализ показателей в двух совокупностях на достоверность различий [1]. Были определены территориальные и возрастные особенности смертности населения.

В период с 2010 по 2019 гг. была отмечена устойчивая тенденция к снижению смертности населения по всем причинам. Коэффициент детерминации R^2 составил 0,74. Смертность населения Республики Беларусь уменьшилась с 14,4‰ в 2010 г. до 12,8 случаев смерти на 1000 населения в 2019 г.

Выраженное снижение показателей смертности населения отмечалось до 2014 г. (12,8 ‰), в период 2015–2017 гг. смертность сохранялась на одном уровне 12,6 ‰, в 2018 и 2019 гг. отмечено увеличение коэффициента общей смертности населения до уровня 12,7 и 12,8 ‰ соответственно.

Среднегодовое значение (2010–2019 гг.) показателя смертности (A_0) составило 13,1 на 1000 населения Республики Беларусь. По критериям ВОЗ показатель общей смертности в Республике Беларусь соответствует среднему уровню смертности населения (от 9 до 15 ‰).

В период наблюдения выраженная тенденция к снижению смертности населения от всех причин отмечалась во всех регионах. Наиболее благоприятная ситуация складывалась в г. Минске, где среднегодовой показатель частоты смертности от всех причин составил 9,1 ‰.

Анализ структуры смертности в разрезе сельского и городского населения показал, что доля смертей среди сельского населения в 2010–2019 гг. значительно снизилась с 42,5 до 36,4 %. Можно предположить, что причиной тому может быть отток сельского населения в города (процесс урбанизации) и улучшение системы здравоохранения в сельской местности. В свою очередь, увеличение населения городов могло повлиять на увеличение структурного показателя смертности городского населения (57,5 % – в 2010 г., 63,6 % – в 2019 г.).

Для республики характерна более высокая смертность сельского населения. Так, в 2010 году показатель смертности сельских жителей составил 24,4 случаев смерти на 1000 населения, городских жителей – 11,1, в 2019 году смертность сельских жителей составила 21,6, городских жителей – 10,3 случаев смерти на 1000 населения. В определенной степени это связано с особенностями возрастной структуры населения: на селе проживает больше пожилых людей. Вместе с тем следует отметить, что процессы старения сельского населения носят относительный характер и в значительной степени обусловлены миграцией молодежи в город.

В структуре смертности населения Республики Беларусь по классам болезней основными причинами смерти в 2010 г. были заболевания системы кровообращения – 53,8 % и новообразования – 13,4%. В 2015 г. и 2019 г. первые ранговые места принадлежали также болезням системы кровообращения (55,3% и 58,9% соответственно) и новообразованиям (14,8% и 16,0% соответственно). Третье место как причина смертности принадлежало внешним воздействиям (2010 г. – 10,3%, 2015 г. – 7,3%, 2019 г. – 6,5%). Удельный вес старости, как причины смертности населения, в 2010 и 2015 гг. опережал травматизм, но в 2019 году уменьшился на 2,5 раза по сравнению с 2010 годом и составил 4,1%.

Был проведен ретроспективный анализ смертности населения в Республике Беларусь от отдельных причин с целью определения сложившихся за 10 лет закономерностей.

В динамике смертности населения от болезней системы кровообращения с 2010 по 2016 год выявлена тенденция к снижению смертности ($R^2=0,69$). Показатель тенденции $A_1=-1,71$ случаев смертности на 100 000 населения. С 2016 по 2019 год выявлена тенденция к увеличению смертности населения от болезней системы кровообращения ($R^2=0,70$). Показатель тенденции $A_1=1,21$ случаев смертности на 100 000 населения. Среднегодовой показатель частоты смертности населения от болезней системы кровообращения составил 719,4 случаев заболеваний на 100 000 населения. В целом за период наблюдения показатель смертности уменьшился с 778,1 ‰ в 2010 г. до 750,3 ‰ в 2019 г. Среднегодовой темп убыли составил -0,3 %. В целом смертность от болезней системы кровообращения в 2019 году по сравнению с 2010 г. уменьшилась на 3,6 %.

В динамике смертности населения от новообразований с 2010 по 2014 год выявлена устойчивая тенденция к снижению ($R^2=0,95$). Показатель тенденции $A_1=-0,3$ случаев смертности на 100 000 населения. В динамике смертности населения от новообразований с 2014 по 2019 год выявлена тенденция к устойчивому увеличению смертности населения от новообразований ($R^2=0,96$). Показатель тенденции $A_1=0,44$ случаев на 100 000 населения. Среднегодовой показатель частоты случаев смерти населения от новообразований составил 191,6 на 100 000 населения. В 2010 г. показатель смертности составил 194,3 ‰ в 2019 г. 203,8 ‰. Среднегодовой темп прироста составил 0,5 %.

В динамике смертности населения от внешних причин выявлена устойчивая тенденция к снижению ($R^2=0,89$). Показатель тенденции $A_1=-0,77$ случаев на 100 000 населения. Среднегодовой показатель частоты

смертности населения от внешних причин составил 105,9 случаев на 100 000 населения. К 2019 г. показатель смертности уменьшился в 1,8 раз по отношению к уровню 2010 г. (с 150,5 до 83,3 ‰). Среднегодовой темп прироста составил: -5,6%. В целом смертность от внешних причин в 2019 году по сравнению с 2010 г. уменьшилась на 44,7 %.

Тенденция к снижению выявлена в динамике смертности населения по причине старости в 2,6 раза по отношению к уровню 2010 г., от болезней органов пищеварения – на 25%, болезней органов дыхания – в 1,5 раза, некоторых инфекционных и паразитарных болезней – в 1,8 раза.

Увеличение смертности было отмечено по классу «Болезни нервной смерти». В динамике смертности населения от болезней нервной системы выявлена выраженная тенденция к увеличению смертности ($R^2=0,93$). Показатель тенденции $A_1=0,75$ случаев инфекции на 100 000 населения. Среднегодовой показатель частоты смертности населения от болезней нервной системы составил 39,0 случаев заболеваний на 100 000 населения. Показатель смертности увеличился с 15,4 случаев на 100 000 населения в 2010 г. до 75,8‰ в 2019 году или в 5 раз. Среднегодовой темп прироста составил 19,3%.

Был проведен ретроспективный анализ смертности детей, населения трудоспособного и старше трудоспособного возраста с определением тенденций в период с 2010 по 2019 гг.

В динамике смертности населения рассмотренных возрастных групп от всех причин в период наблюдения с 2010 по 2019 гг. выявлена тенденция к снижению. К 2019 г. показатель смертности детей уменьшился в 2 раза по отношению к уровню 2010 г., трудоспособного населения – на 22,4 %, лиц старше трудоспособного – в 1,9 раза. Среднегодовой показатель частоты случаев смерти детей от всех причин составил 39,1 случаев на 100 000 детского населения. Среднегодовой показатель смертности трудоспособного населения составил 461,2 случая на 100 000 соответствующего населения, старше трудоспособного – 4320,9 ‰. В наблюдаемый период смертность лиц старше трудоспособного возраста превышала уровень смертности трудоспособного населения в 9,4 раза.

В структурном распределении смертности детского населения Республики Беларусь по причинам преобладали случаи смерти от внешних причин (2010 г. – 37,2 %, 2015 г. – 25,1%, 2019 г. – 24,7%). Второе место занимали отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде (2010 г. – 18,3%, 2015 г. – 27,7%, 2019 г. – 17,6%). На третье ранговое место были врожденные пороки и аномалии развития (2010 г. – 14,6%, 2015 г. – 16,4%, 2019 г. – 14,4 %). Экстенсивные показатели смертности от внешних причин уменьшилось с 37,1% в 2010 г. до 24,7% в 2019 г. (в 1,5 раза); от отдельных причин в перинатальном периоде с 18,4% до 17,6% (на 4,3%). Показатели удельного веса врожденных пороков, как причины смертности детей, практически не изменились в конце изучаемого периода по отношению к начальному году исследования. По другим причинам смертности детского населения характерно увеличение экстенсивных показателей. Так, например, удельный вес болезней нервной системы, как причины смерти, увеличился с 9,7% в 2010 г. до 13,4 % в 2019 г., новообразований – с 5,2% до 11,3% соответственно.

В структурном распределении смертности трудоспособного населения Республики Беларусь по причинам преобладали случаи смерти от болезней системы кровообращения (2010 г. – 34,4%, 2015 г. – 34,8 %, 2019 г. – 36,4%). На втором месте находились внешние причины (2010 г. – 32,3 %, 2015 г. – 26,7%, 2019 г. – 22,9 %), на третьем месте - новообразования (2010 г. – 15,8 %, 2015 г. – 21,2%, 2019 г. – 22,1 %). Далее в ранговом порядке причин смертности расположились болезни органов пищеварения (2010 г. – 7,7 %, 2015 г. – 6,3 %, 2019 г. – 7,4 %). Удельный вес болезней системы кровообращения в структуре причин смертности трудоспособного населения к 2019 г. увеличился на 2 % по сравнению с 2010 г., новообразований – на 6,3 % . По другим классам смертности отмечено уменьшение экстенсивных показателей.

Среди причин смертности населения старше трудоспособного возраста преобладали болезни системы кровообращения (2010 г. – 61,4 %, 2015 г. – 60,7 %, 2019 г. – 64,9 %). На втором месте - новообразования (2010 г. – 13,7%, 2015 г. – 13,4 %, 2019 г. – 14,6 %). На третье место вышли симптомы, признаки (старость) (2010 г. – 13,7 %, 2015 г. – 12,5 %, 2019 г. – 5,1 %). Экстенсивные показатели смертности от болезней сердечно-сосудистой системы к 2019 г. увеличились на 3,5 % по сравнению с 2010 годом, от новообразований – на 6,6 % По другим причинам характерно уменьшение экстенсивных показателей.

По итогам анализа была проведена количественная оценка показателей смертности населения в Республике Беларусь в целом, по причинам и возрастным группам (таблица 1, 2).

Таблица 1 – Количественная оценка показателей смертности населения Республики Беларусь в 2010–2019 гг.

Смертность	A_0 , ‰	A_1 , ‰	R^2	t 2019/2010
Общая смертность	1313,05	-19,97	0,74↓	28,2
Болезни системы кровообращения	719,4	-0,28	0,1	2,2
Новообразования	191,6	0,13	0,3	1,8
Внешние причины-	105,9	-0,77	0,89↓	13,4
Симптомы, признаки (старость)	104,1	-8,75	0,94↓	21,1
Болезни органов пищеварения	44,6	-0,19	0,56↓	3,7
Болезни органов дыхания	20,6	-0,13	0,4↓	4,6
Заболевания нервной системы	39,0	0,75	0,93↑	20
Инфекционные болезни	9,5	-0,88	0,56↓	19

Как видно из таблицы 1 в период 2010-2019гг. смертность населения в целом и по отдельным причинам имела направленность к устойчивому статистически значимому снижению. Исключением в этот период является смертность от болезней нервной системы, которая имеет достоверное увеличение показателей в динамике. Частота случаев смерти среди населения наиболее высокая по причине болезней системы кровообращения и новообразований. Больше половины белорусов умирают от болезней системы кровообращения. В последние годы наметилась тенденция роста смертей от новообразований (в среднем 15 % умерших). Смертность от внешних причин всегда преждевременна, чаще всего регистрируется у лиц активного трудоспособного возраста, поэтому ее социально-медицинская значимость высока.

Различия показателей смертности в целом и по причинам в конце изучаемого периода по отношению к начальному году исследования носят статистически значимый характер, за исключением смертности от новообразований.

Устойчивая статистически значимая тенденция снижения смертности отмечается среди всех возрастных групп населения (таблица 2).

Таблица 2 – Количественная оценка показателей смертности населения Республики Беларусь по возрастным группам в 2010–2019 гг.

Возрастные группы	A0, ‰	A1, ‰	R ²	t 2019/2010
Все население	1313,05	-19,97	0,74↓	28,2
Детское население	39,1	- 2,81	0,96↓	20,5
Трудоспособное население	461,2	-26,34	0,58↓	13,4
Население старше трудоспособного возраста	4320,9	-69,59	0,73↓	19,2

Оценка и анализ многолетних показателей смертности и заболеваемости населения позволяют определять приоритеты в вопросах охраны здоровья населения, осуществлять поиск причинности болезней, улучшать эффективность реализуемых профилактических мероприятий, и тем самым влиять на уровень смертности населения в сторону его снижения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов, А. Медицинская статистика / А. Герасимов. Мн.: МИА, 2007. 480 с. (С. 115-142).
2. Демография и статистика населения: учебник для академического бакалавриата / под ред. И. И. Елисеевой, М. А. Клуба. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. Изд-во Юрайт, 2016. – 405 с.
3. Здравоохранение в Республике Беларусь / Официальный статистический сборник. – Минск: ГУ РНМБ, 2010 – 2019.
4. Общественное здоровье и методы его изучения учеб-метод. пособие. – В 2 ч. Ч. 2. Общественное здоровье / Н. Н. Пилипцевич, И.Н. Мороз, Л.П. Плахотя. – Минск: БГМУ, 2018. – 104 с.

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЭКСПРЕССИИ ERCC1, TP, TS, ПРИ КОЛОРЕКТАЛЬНОМ РАКЕ

PROGNOSTIC SIGNIFICANCE OF DETERMINING THE LEVEL OF EXPRESSION OF ERCC1, TS, TP IN COLORECTAL CANCER

М. С. Оев^{1,2}, Е. М. Шпадарук^{1,2}, Р. М. Смолякова^{1,2}

М. Oev^{1,2}, K. Shpadaruk^{1,2}, R. Smolyakova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

katsiaryna.shpadaruk@iseu.by, mehvarshoh,oev@yandex.ru

В ходе исследования был проведен анализ уровня экспрессии при колоректальном раке онкогена ERCC1 у 72 пациентов, генов TS и TP у 94 пациентов. В результате анализа полученных данных было установлено, что между группами пациентов, получавших радикальное лечение и комбинированное лечение, по экспрес-

сии исследуемых генов статистически значимых различий не было выявлено. При анализе прогностической значимости исследуемых показателей выявлено, что у пациентов с детектированным прогрессированием заболевания установлено преобладание гипокспрессии онкогена ERCC1 и гена, а также умеренная экспрессия гена TP. Взаимосвязь между уровнем экспрессии исследуемых генов и общей выживаемостью пациентов с колоректальным раком – прямая слабой силы ($p_{\text{Спирмен}} < 0,05$).

In the course of the study, it was made the analysis of the expression level in colorectal cancer of the ERCC1 oncogene in 72 patients, the TS and TP genes in 94 patients. As a result of the analysis of the obtained data, it was found that there were no statistically significant differences in the expression of the studied genes between the groups of patients who received radical treatment and combined treatment. When analyzing the prognostic significance of the studied parameters, it was found that in patients with detected progression of the disease, the predominance of hypoeexpression of the ERCC1 oncogene and gene, as well as moderate expression of the TP gene, was established. The relationship between the level of expression of the studied genes and the overall survival of patients with colorectal cancer is a weak straight line ($p_{\text{Spearman}} < 0.05$).

Ключевые слова: колоректальный рак, пациенты, уровень экспрессии, ген ERCC1 TS TP молекулярно-генетические маркеры, терапия.

Keywords: colorectal cancer, patients, expression level, genes ERCC1 TS TP, molecular genetic markers, therapy.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-41-45>

Введение. Колоректальный (ККР) или рак толстой кишки – это группа злокачественных новообразований эпителиального происхождения, расположенных в области толстой кишки и анального канала. Является одной из самых часто встречающихся форм рака. Данное заболевание является одним из наиболее частых поражений толстой кишки, требующих оперативного вмешательства, успешность которого зависит от своевременности распознавания заболевания и предпринятого лечения. Составляет почти 10 % от общего количества диагностированных случаев злокачественных эпителиальных опухолей во всем мире. Распространенность колоректального рака в различных географических зонах сильно различается. Самая высокая заболеваемость выявляется в США, Австралии, Новой Зеландии и странах Западной Европы – около 35–40 случаев на 100 000 (сто тысяч) населения, а самые низкие – Африке и Центральной и Южной Азии – около 6–7 случаев на 100 000 населения [1].

ERCC1 (excisionrepaircrosscomplementing – фермент комплиментарной эксцизионной репарации ДНК) относится к группе ферментов, участвующих в репарации ДНК путем распознавания и удаления одиночных ошибочно спаренных нуклеотидов. Повышенная экспрессия гена ERCC1 у пациентов с колоректальным раком связывалась с более эффективным ответом на химиотерапию (61,9%) по сравнению с пациентами с более низкой экспрессией [2].

TS (тимидилатсинтетаза) – тканевой маркер колоректального рака, который катализирует превращение дезоксирибидинамонофосфата в дезокситимидинмонофосфат, который является единственным источником синтеза тимидина. Повышенные уровни TS в исследованиях были связаны с худшим прогнозом течения колоректального рака и с резистентностью к химиотерапии 5-фторурацилом и его производными [3, 4].

TP (тимидинфосфорилаза) представляет собой фермент, активирующий фторпиримидин посредством превращения фторурацила в 5-фторурацил-дезоксирибонуклеотид. Данный фермент не только участвует в метаболизме азотистых оснований ДНК, но и способствует процессам ангиогенеза. Его экспрессия повышена в большинстве опухолей и коррелирует с неблагоприятным прогнозом и низким ответом на стандартную 5-Fu, содержащую химиотерапию. В то же время высокая экспрессия ТУМР может свидетельствовать о чувствительности опухоли к пероральным фторпиримидинам, в частности к капецитабину, так как именно ТУМР конвертирует капецитабин в активную форму. Таким образом, высокая внутриопухолевая активность ТУМР может, с одной стороны, способствовать прогрессии онкологического заболевания, а с другой – избирательности действия пероральных форм фторпиримидинов [5].

Цель работы: Провести анализ уровня экспрессии генов ERCC1 TS и TP для прогноза течения заболевания и оценки агрессивного потенциала опухоли и эффективности лечения пациентов, страдающих колоректальным раком.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили свежемороженые образцы опухолевой и морфологически нормальной тканей 94 пациентов, страдающих колоректальным раком, и находившихся на обследовании и лечении в РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александро́ва. Все пациенты включались в исследование с обязательным морфологическим подтверждением диагноза и письменным информированным согласием на исследование. Выборка состоит из двух групп: первая (I) – 54 пациента с выполненным радикальным лечением и вторая (II) – 40 пациентов с выполненным радикальным лечением и полихимиотерапией (ПХТ) по схеме 5-фторурацил и лейковорин (кальция фолинат) в дозе 400 мг/м² в сутки.

В ходе проведенного исследования были определены уровень экспрессии онкогена ERCC1 в опухолевой ткани 72 пациентов и уровни экспрессии генов TS и TP у 94 пациентов, страдающих колоректальным раком, получавших различные виды терапии. Определение уровней экспрессии генов ERCC1, TS и TP клиническом материале пациентов с колоректальным раком проводилось методом полимеразной цепной реакции

с гибридизационно-флуоресцентной детекцией в режиме «реального времени» осуществлялось с помощью набора для выделения РНК High Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Амбион, США) и детекцией на амплификаторе «iCycler», BioRad (США) с использованием набора реагентов «MaximaHotStartDNApolyme radsekit» (Fermentas, Литва). Статистический анализ полученных результатов выполнен с использованием компьютерных пакетов статистических программ STATISTICA (версия 13.3, «StatSoft», США), EXCEL 2013. Клинико-лабораторное исследование проспективное нерандомизированное. Математическая обработка клинико-лабораторных данных включала проверку нормальности распределения количественных показателей в выборке с использованием критерия Shapiro-Wilk's (W-test). Статистическую значимость различий оценивали по критерию Манна-Уитни (U-test). Меры связи между анализируемыми показателями определяли по величине коэффициентов корреляции Спирмена (R). При всех видах статистического анализа различия считали статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования. Анализ клинических данных показал, что средний возраст пациентов составил $63,2 \pm 1,2$ лет, женщин 54,1 %, мужчин 45,7 %. При анализе данных пациентов, страдающих колоректальным раком, по степени распространенности опухолевого процесса было установлено, что преобладала IIIВ стадия, выявленная у 55 (58,5 %) пациентов, IIIС – у 21 (22,3%), IIIА стадия у 17 (18,1 %) а по гистологическому типу преобладала умеренно дифференцированная аденокарцинома, детектированная у 54 % пациентов, высокодифференцированная аденокарцинома верифицирована у 16 (17,0 %) пациентов, низкодифференцированная аденокарцинома – у 9 (9,6%), недифференцируемая аденокарцинома – у 9 (9,6 %), аденокарцинома со слизееобразованием – у 5 (5,3 %), папиллярная, тубулярная, крибриформная, крибриформная и тубулярная аденокарциномы по 1,1 % (1) соответственно.

При индивидуальном анализе клинических данных пациентов I-й группы было установлено, что средний возраст пациентов составил $68,2 \pm 1,4$ лет, в зависимости от гистологического типа рака толстого кишечника преобладала умеренно дифференцированная аденокарцинома, выявленная в 59,3 % случаев, при анализе данных пациентов, страдающих колоректальным раком, по степени распространенности опухолевого процесса было установлено, что преобладала IIIВ стадия, диагностированная у 61,1 % пациентов.

При анализе клинических данных пациентов II-ой группы было установлено, что средний возраст пациентов составил $56,6 \pm 1,6$ лет, в зависимости от гистологического типа гистологического типа рака толстого кишечника преобладала умеренно дифференцированная аденокарцинома, выявленная в 47,5 % случаев, по степени распространенности опухолевого процесса было установлено, что преобладала IIIВ стадия, диагностированная у 55,0% пациентов.

ERCC1. Экспрессия гена ERCC1 была определена у 72 пациентов с колоректальным раком. Результаты исследования показали, что уровень экспрессии при колоректальном раке варьировал от 0,001 до 144,0 отн. ед., среднее значение уровня экспрессии составило $3,42 \pm 2,11$ отн. ед. У 34,7% (25) пациентов уровень экспрессии гена составил от 0 до 0,1 отн. ед., у 43,1 % (31) – от 0,1 до 1 отн. ед., у 8,3 % (6) – от 1,0 до 2,0 отн. ед., у 6,9 % (5) – от 2,0 до 5,0 отн. ед., у 1,4 % (1) – от 5,0 до 10,0 отн. ед., у 1,4 % (1) – от 10,0 до 20,0 отн. ед., у 1,4 % (1) – от 40,0 до 80,0 отн. ед., у 2,8 % (2) – от 80,0 до 200,0 отн. ед. Уровень экспрессии исследуемого гена нормальной тканью толстого кишечника принят за базовый уровень и составил от 1,0 – 5,0 отн. ед. Таким образом, при анализе полученных данных было диагностирована гипокспрессия, установленная (от 0 до 1 отн. ед.) у 77,8% пациентов, умеренная экспрессия (от 1 до 5 отн. ед.) – у 15,2% и гиперэкспрессия (свыше 5 отн. ед.) – у 7%.

При анализе полученных данных по определению уровня экспрессии онкогена ERCC1 в группе пациентов, получавших радикальное лечение (I-я группа), гипокспрессия выявлена в 77,5 % случаев, умеренный уровень экспрессии – в 17,5 %, гиперэкспрессия – в 5 % случаев, среднее значение уровня экспрессии составило $1,69 \pm 1,07$ отн. ед.

Во II-ой группе пациентов, получавших комбинированное лечение, анализ данных по определению уровня экспрессии ERCC1 показал, что гипокспрессия выявлена в 78,2% случаев, умеренный уровень экспрессии – в 12,5%, гиперэкспрессия – в 6,3% случаев, среднее значение уровня экспрессии составило $5,53 \pm 4,49$ отн. ед.

При сравнении уровней экспрессии гена ERCC1 между пациентами I-ой и II-ой групп с применением U-критерия Манна-Уитни выявлено, что различия между группами статистически не значимы ($p > 0,05$) полученное значение $U = 431,5$.

Для выявления прогностической значимости онкогена ERCC, проведен анализ уровней экспрессии данных генов у 29 (30,9 %) пациентов с прогрессированием заболевания. В ходе проведенного исследования и анализа полученных данных в группе пациентов с диагностированным рецидивом заболевания, гипокспрессия выявлена в 82,8% (24) случаев, умеренный уровень экспрессии – в 10,3 % (3), гиперэкспрессия – в 6,9 % (2) случаев. Анализ общей выживаемости пациентов с колоректальным раком показал, что у 45/72 пациентов (62,5 %) выявлен неблагоприятный прогноз течение заболевание, установлен летальный исход от основного заболевания в первые 5 лет. В результате проведенного корреляционного анализа среди пациентов, страдающих КРР, установлено, что ранговая корреляционная связь между уровнем экспрессии гена ERCC1 и выживаемостью пациентов – слабая и прямая, статистически значимая ($R_s = 0,203$; $p(\text{Спирмен}) < 0,05$).

Таким образом, гипокспрессия онкогена ERCC1 может являться неблагоприятным дополнительным фактором развития раннего рецидива заболевания.

TS. В ходе исследования была определена экспрессия гена TS у 94 пациентов с колоректальным раком. Результаты исследования показали, что уровень экспрессии при колоректальном раке варьировал от 0,01 до 13,71 отн.

ед., среднее значение уровня экспрессии составило $0,93 \pm 0,32$ отн. ед. У 17,1% (16) пациентов уровень экспрессии гена составил от 0 до 0,1 отн. ед., у 48,9% (46) – от 0,1 до 1,0 отн. ед., у 24,5% (23) – от 1,0 до 2,0 отн. ед., у 5,3 % (5) – от 2,0 до 5,0 отн. ед., у 3,2 % (3) – от 5,0 до 10,0 отн. ед., у 1,0 % (1) – более 10,0 отн. ед. Уровень экспрессии исследуемого гена нормальной тканью толстого кишечника принят за базовой уровень и составил от 0,98 отн. ед. до 1,91 отн. ед. Таким образом, при анализе полученных данных была диагностирована гипоекспрессия, установленная у 66,0% пациентов, умеренный уровень экспрессии – у 24,5 % и гиперэкспрессия – у 9,5%.

При анализе полученных данных по определению уровня экспрессии гена TS в группе пациентов, получавших радикальное лечение (I-я группа), среднее значение исследуемого показателя составило $0,78 \pm 0,10$ отн. ед.: гипоекспрессия выявлена в 61,1% случаев, умеренный уровень экспрессии – в 33,3%, гиперэкспрессия – в 5,6% случаев,

Во II-ой группе пациентов, получавших комбинированное лечение, анализ данных по определению уровня экспрессии TS показал, что гипоекспрессия выявлена в 72,5% случаев, умеренный уровень экспрессии – в 12,5%, гиперэкспрессия – в 15,0% случаев, среднее значение экспрессии данного гена составило $1,18 \pm 0,38$ отн. ед.

Сравнительный анализ уровней экспрессии гена TS между пациентами I-ой и II-ой групп с применением U-критерия Манна-Уитни показал, что различия между группами статистически не значимы $U = 752$ ($p > 0,05$).

В ходе проведенного исследования и анализа полученных данных в группе пациентов с диагностированным рецидивом заболевания, гипоекспрессия выявлена в 79,3% (23) случаев, умеренный уровень экспрессии – в 13,8% (4), гиперэкспрессия – в 6,9 % (2) случаев. Анализ общей выживаемости при колоректальном раке данной выборки пациентов показал, что у 51 пациента (54,3%) выявлен неблагоприятный прогноз течения заболевания, установлен летальный исход от основного заболевания в первые 5 лет. В результате проведенного статистического анализа данных пациентов, страдающих КРР, установлено, что ранговая корреляционная связь между уровнем экспрессии гена TS и выживаемостью пациентов – слабая и прямая, статистически значимая TS ($R_s = 0,070$; $p_{\text{Спирмен}} < 0,05$).

ТР. В ходе работы был проведен анализ экспрессии гена ТР у 94 пациентов, страдающих колоректальным раком. Результаты исследования показали, что уровень экспрессии при колоректальном раке варьировал от 0,02 до 304,44 отн. ед., среднее значение уровня экспрессии составило $15,25 \pm 4,56$ отн. ед. У 8,5% (8) пациентов уровень экспрессии гена составил от 0 до 0,1 отн. ед., у 18,1 % (17) – от 0,1 до 1,0 отн. ед., у 11,7% (11) – от 1,0 до 2,0 отн. ед., у 25,5 % (24) – от 2,0 до 5,0 отн. ед., у 9,6 % (9) – от 5,0 до 10,0 отн. ед., у 16,0 % (15) – от 10,0 до 20,0 отн. ед., у 4,2 % (4) – от 20,0 до 40,0 отн. ед., у 1,1 % (1) – от 40,0 до 80,0 отн. ед., у 3,2% (3) – от 80,0 до 200,0 отн. ед., у 2,1% (2) – более 200,0 отн. ед. Уровень экспрессии исследуемого гена нормальной тканью толстого кишечника принят за базовой уровень и составил от 0,12 до 8,78 отн. ед. Таким образом, при детальном анализе полученных данных было диагностирована гипоекспрессия у 8,5% пациентов, умеренная экспрессия – у 64,9% и гиперэкспрессия – у 26,6%.

В I-ой группе пациентов, получавших радикальное лечение, среднее значение уровня экспрессии гена ТР составило $5,09 \pm 0,98$ отн. ед. При анализе полученных данных по определению уровня экспрессии исследуемого показателя установлено, что гипоекспрессия выявлена в 9,2% случаев, умеренный уровень экспрессии – в 70,4%, гиперэкспрессия – в 20,4% случаев.

Во II-ой группе пациентов, получавших комбинированное лечение, анализ данных по определению уровня экспрессии ТР показал, что гипоекспрессия выявлена в 7,5% случаев, умеренный уровень экспрессии – в 57,5 %, гиперэкспрессия – в 35,0% случаев, среднее значение уровня экспрессии опухолевой ткани составило $28,71 \pm 10,21$ отн. ед.

Статистический анализ показал, что между пациентами I-ой и II-ой групп по параметрам экспрессии гена ТР значимых различий не было выявлено ($U = 885,5$; $p_{\text{(Манна-Уитни)}} > 0,05$).

Для выявления прогностической значимости онкогена ТР, проведен анализ уровней экспрессии данных генов у пациентов с прогрессированием заболевания (30,9%). В ходе проведенного исследования и анализа полученных данных в группе пациентов с диагностированным рецидивом заболевания, гипоекспрессия выявлена в 6,9% (2) случаев, умеренный уровень экспрессии – в 72,4% (21), гиперэкспрессия – в 24,1% (7) случаев. В результате проведенного статистического анализа данных установлено, что ранговая корреляционная связь между уровнем экспрессии гена ТР и выживаемостью пациентов с ККР – слабая и прямая, статистически значимая ($R_s = 0,210$; $p_{\text{Спирмен}} < 0,05$).

Заключение. Суммируя все изложенное выше, можно заключить, что определение уровней экспрессии генов ERCC1 TS и ТР необходимо использовать для прогноза течения заболевания, оценки агрессивного потенциала опухоли и эффективности лечения пациентов, страдающих колоректальным раком. В ходе проведенного исследования было установлено, что:

- Среднее значение экспрессии ERCC1 составило $3,42 \pm 2,11$ отн. ед., с преобладанием гипоекспрессии у 77,8% пациентов, среднее значение экспрессии TS составило $0,93 \pm 0,32$ отн. ед. с установленной в большинстве (66,0%) случаев гипоекспрессии, среднее значение экспрессии ТР составило $15,25 \pm 4,56$ отн. ед. с наиболее часто детектируемым умеренным уровнем экспрессии – у 64,9% пациентов.

- Между пациентами, получавших радикальное лечение и комбинированное лечение, по экспрессии исследуемых генов статистически значимых различий не было выявлено ($p_{\text{(Манна-Уитни)}} > 0,05$).

- У пациентов с детектированным прогрессированием заболевания установлено преобладание гипоекспрессии онкогена ERCC1 в 82,8% случаев, гена TS – 79,3% случаев и умеренным уровнем экспрессии гена

ТР – у 72,4% пациентов. Взаимосвязь между уровнем экспрессии исследуемых генов и общей выживаемостью пациентов с колоректальным раком – прямая слабой силы ($p_{\text{Спирмен}} < 0,05$).

Таким образом, гипоксепрессия онкогена ERCC1, гена TS, умеренная экспрессия TS может являться неблагоприятным дополнительным фактором развития раннего рецидива заболевания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет портал [Электронный ресурс] / https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/10_8_9-Colorectum-fact-sheet.pdf. – Дата доступа: 05.03.2021.
2. Новык, А. В. Значение биомаркеров для диагностики и определения тактики лечения больных с опухолями с неизвестной первичной локализацией / А.В. Новык, А.С. Жабина // Практическая онкология. – 2016. – Т. 12. – № 4. – С. 178–184.
3. Колесник, А.П. Молекулярные маркеры прогрессирования колоректального рака / А.П. Колесник, И.Д. Паламарчук, А.М. Сидоренко // Онкология. – 2006. – № 1. – С. 13–17;
4. Thymidylate synthase expression in hepatic tumors is a predictor of survival and progression in patients with resectable metastatic colorectal cancer / M. Gonen [et al.] // J. Clin. Oncol. – 2011. – № 3. – P. 406–412;
5. Sher, C.J The Pezcoller lecture: Cancer cell cycles revisited / C.J. Sher // Cancer Res. – 2013. – Vol. 69, № 36. – P.89 – 95.

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ БОЛЕЗНЯМИ ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF THE MORBIDITY OF THE ADULT POPULATION OF MINSK REGION WITH DISEASES OF THE ENDOCRINE SYSTEM

Д. А. Ротова^{1,2}, М. А. Дубина^{1,2}

D. Rotova^{1,2}, M. Dubina^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

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

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Эндокринная система наряду с нервной системой регулирует и координирует функции всех других органов и систем, обеспечивая единство организма.

Несмотря на успехи современной медицины, на сегодняшний день проблема эндокринных заболеваний является актуальной для большинства стран мира. Как показывает статистика, в мире сахарным диабетом страдает 371 млн. человек, что составляет 7 процентов от всего населения Земли [3].

В работе была проанализирована заболеваемость взрослого населения Минской области заболеваниями эндокринной системы за период с 2015 по 2019 год и выявлены основные тенденции.

The endocrine system, along with the nervous system, regulates and coordinates the functions of all other organs and systems, ensuring the unity of the body.

Despite the success of modern medicine, today the problem of endocrine diseases is relevant for most countries of the world. According to statistics, 371 million people suffer from diabetes in the world, which is 7 percent of the total population of the Earth [3].

The paper analyzed the incidence of the adult population of Minsk region with diseases of the endocrine system for the period from 2015 to 2019 and identified the main trends.

Ключевые слова: заболеваемость, эндокринная система, тенденция.

Keywords: morbidity, endocrine system, tendency.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-45-48>

Заболевания эндокринной системы разнообразны. В нормальном состоянии существует гармоничный баланс между деятельностью желез внутренней секреции и состоянием человека. Любое нарушение быстро приводит к отклонениям от нормы. В настоящее время основными причинами заболеваемости, ранней инвалидизации

и смертности населения стали заболевания неинфекционной природы: сердечно-сосудистые, онкологические, нервно-психические и др. Всё возрастающее значение среди них приобретает проблема сахарного диабета. Глобальная распространенность сахарного диабета среди взрослых возросла с 4,7% в 1980 году до 8,5% в 2014 году, увеличив число взрослых с сахарным диабетом до ошеломляющего уровня – 422 миллиона человек во всем мире, по данным Всемирной организации здравоохранения [1].

По данным ВОЗ заболевания щитовидной железы среди эндокринных нарушений занимают 2 место после сахарного диабета. Более 665 млн. человек в мире имеют эндемический зоб или страдают другими тиреоидными патологиями; полтора миллиарда человек сталкиваются с риском развития йододефицитных заболеваний [5].

В настоящее время проблема йододефицита чрезвычайно важна и актуальна для многих стран мира. Большое количество жителей земли живут в местах с пониженным содержанием йода в воде, почве, воздухе, продуктах питания [4]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), 30% населения мира имеет риск развития йододефицитных заболеваний, в том числе 500 млн. людей, проживающих в регионах с тяжёлым йодным дефицитом и высокой распространённостью эндемического зоба. Гипотиреоз является самым распространенным эндокринным заболеванием после сахарного диабета [2]. Вместе с тем, по имеющимся данным, от 3 до 20 % населения всего мира в настоящее время страдает аутоиммунным тиреоидитом (АИТ), который и является причиной развития 70–80 % всех случаев первичного гипотиреоза. В различных странах АИТ встречается с частотой от 0,1 до 1,2 % у детей и от 6 до 11 % – среди взрослого населения.

В работе была проанализирована структура общей и первичной заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы на начало (2015 год) и конец (2019 год) изучаемого периода.

Отмечено, что первые ранговые места в структуре общей заболеваемости в 2015 году занимали следующие заболевания: сахарный диабет 2 типа (50,64 %), узловой зоб (13,06 %), аутоиммунный тиреоидит (7,73 %), другие формы гипотиреоза (6,54 %) и послеоперационный гипотиреоз (4,74 %).

В конце исследуемого периода структура общей заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы изменилась. Первое ранговое место также занимает заболевание – сахарный диабет 2 типа (52,48%), вклад которого в структуру заболеваемости увеличился на 1,84%; на втором ранговом месте – узловой зоб (12,98 %); на третьем месте – другие формы гипотиреоза (9,02%); на четвертом – аутоиммунный тиреоидит (6,99 %), а на пятом – послеоперационный гипотиреоз (4,61%).

Первое ранговое место в структуре первичной заболеваемости в 2015 году занимал сахарный диабет 2 типа (46,09 %), на втором месте – узловой зоб (15,85 %), на третьем месте – другие формы гипотиреоза (8,70 %), на четвертом – аутоиммунный тиреоидит (7,87 %) и на пятом – послеоперационный гипотиреоз (2,98 %).

В конце исследуемого периода структура первичной заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы не изменилась. Первое ранговое место также занимает заболевание – сахарный диабет 2 типа (45,90 %), вклад которого в структуру заболеваемости уменьшился на 0,19%; на втором месте – узловой зоб (16,90%); на третьем месте – другие формы гипотиреоза (8,96%); на четвертом – аутоиммунный тиреоидит (6,48%), а на пятом – послеоперационный гипотиреоз (3,66%).

При анализе многолетней динамики (2015-2019 гг.) общей заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы была отмечена выраженная тенденция к росту заболеваемости (Рис. 1.).

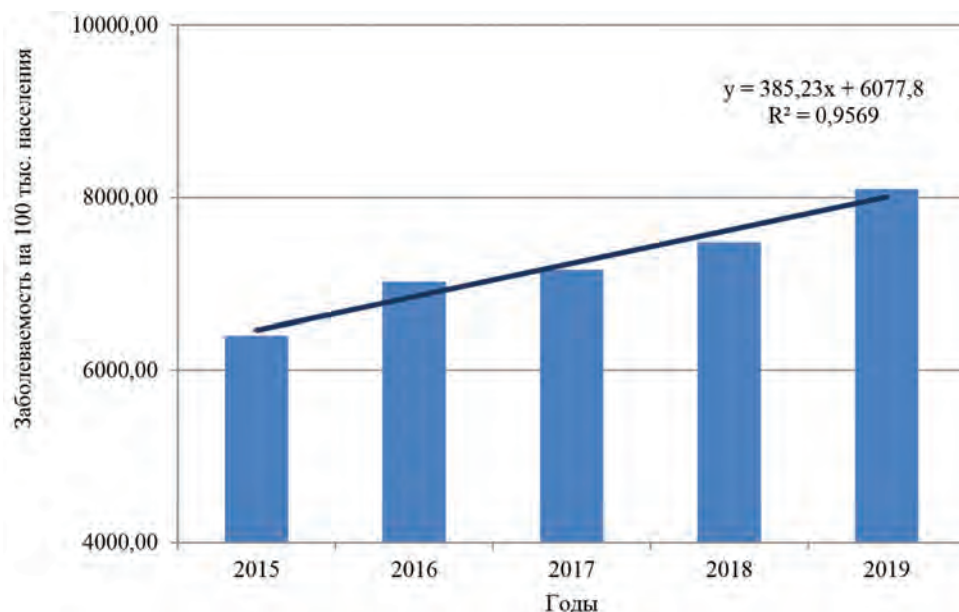


Рисунок 1 – Динамика показателей общей заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы (на 100 тыс. населения) за период 2015–2019 гг.

Среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составлял 7233,55 на 100 тыс. взрослого населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 385,23 на 100 тыс. взрослого населения.

Анализ годовых темпов прироста общей заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы в период с 2015 по 2019 год показал положительное значение (Табл. 1).

Таблица 1 – Темпы прироста общей заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы, 2015–2019, %

Год	2015	2016	2017	2018	2019
T, %		9,68	2,00	4,44	8,26

При анализе многолетней динамики (2015–2019 гг.) первичной заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы не выявлено выраженного изменения динамики в сторону роста или снижения заболеваемости (Рис. 2.)

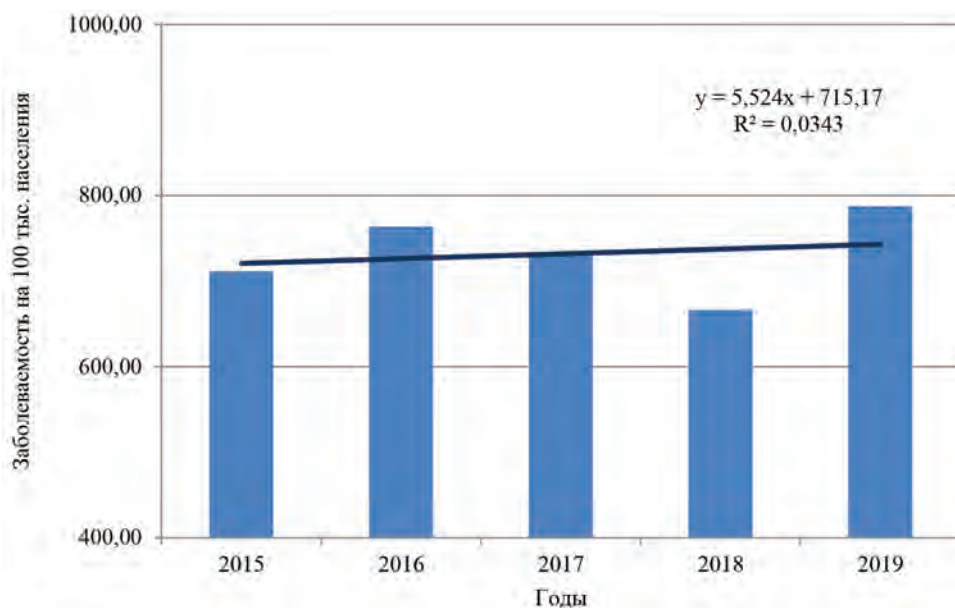


Рисунок 2 – Динамика показателей первичной заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы (на 100 тыс. населения) за период 2015–2019 гг.

Среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составлял 731,74 на 100 тыс. взрослого населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 5,52 на 100 тыс. взрослого населения.

Анализ годовых темпов прироста первичной заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы в период с 2015 по 2019 год было выявлено, что данный период характеризовался как периодами прироста (2016, 2019 год), так и периодами спада (2017, 2018 год) (Табл. 2).

Таблица 2 – Темпы прироста первичной заболеваемости взрослого населения Минской области болезнями эндокринной системы, 2015–2019, %

Год	2015	2016	2017	2018	2019
T, %		7,36	-4,32	-8,86	18,29

Так, в результате проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. При анализе многолетней динамики (2015-2019 гг.) общей заболеваемости взрослого населения Минской области заболеваниями органов эндокринной системы была отмечена выраженная тенденция к росту заболеваемости.

2. При анализе многолетней динамики (2015-2019 гг.) первичной заболеваемости взрослого населения Минской области заболеваниями органов эндокринной системы не выявлено выраженного изменения динамики в сторону роста или снижения заболеваемости.

3. При анализе динамики общей заболеваемости взрослого населения Минской области была отмечена выраженная тенденция к росту заболеваемости сахарным диабетом 2 типа, узловым зобом, другими формами гипотиреоза, аутоиммунным тиреоидитом, послеоперационным гипотиреозом.

4. При анализе динамики первичной заболеваемости взрослого населения Минской области не выявлено выраженного изменения динамики в сторону роста или снижения заболеваемости сахарным диабетом 2 типа, узловым зобом, другими формами гипотиреоза, аутоиммунным тиреоидитом, но была отмечена тенденция к росту заболеваемости послеоперационным гипотиреозом.

Стоит отметить, что полученные результаты позволяют говорить о необходимости и важности принятия профилактических мероприятий, направленных на снижение заболеваемости органов эндокринной системы. Таким образом, становится очевидным важность выявления заболеваний на ранних стадиях развития с помощью мониторинга состояния здоровья населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырева, Л.В. Сахарный диабет и новые взгляды на проблему / Л.В. Болдырева // Символ науки. – 2016. – № 4. – С. 93-95.
2. Вербовой, А.Ф. Гипотиреоз в практике врача-терапевта: сложности диагностики и лечения / А.Ф. Вербовой, Ю.А. Долгих // Медицинский совет. – 2019. – № 21. – С. 206–212.
3. Гунбина, И.В. Информационные технологии в детской диабетологии / И.В. Гунбина // Педиатрический вестник Южного Урала. – 2017. – № 1. – С. 43–46.
4. Долгова, М.Ю. Оценка эффективности способов профилактики йододефицитных состояний среди населения / М.Ю. Долгова, А.Ж. Ахтямова, М.В. Мурзаева // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2017. – Т. 7, № 6. – С. 1110-1111.
5. Есина, М.М. Система репродукции при гипотиреозе / М.М. Есина // Архив акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева. – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 77-83.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ Г. БЫХОВА

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF MORBIDITY ADULT POPULATION OF BYKHOV

В. С. Папруга^{1,2}, М. А. Дубина^{1,2}

V. Papruga^{1,2}, M. Dubina^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

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

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Заболеваемость является одним из важнейших параметров, характеризующих состояние здоровья населения. Здоровье человека изучается и измеряется на разных уровнях. Здоровье населения рассматривается в рамках общественного здравоохранения, а при оценке общественного здоровья применяются специальные нормы и методы.

В работе был проведен ретроспективный анализ заболеваемости взрослого населения г. Быхова за период с 2007 по 2018 год; проанализирована динамика и выявлены основные тенденции общей и первичной заболеваемости населения на основании имеющихся статистических данных.

Morbidity is one of the most important parameters characterizing the state of health of the population. Human health is studied and measured at different levels. The health of the population is considered within the framework of public health, and when assessing public health, special norms and methods are applied.

The work carried out a retrospective analysis of the incidence of the adult population of Bykhov for the period from 2007 to 2018; the dynamics was analyzed and the main trends in the general and primary morbidity of the population were identified based on the available statistical data.

Ключевые слова: заболеваемость, первичная заболеваемость, общая заболеваемость, темпы прироста.

Keywords: morbidity, primary morbidity, general morbidity, growth rates.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-48-51>

Заболеваемость является одним из важнейших параметров, характеризующих состояние здоровья населения. Здоровье человека изучается и измеряется на разных уровнях. При оценке состояния здоровья каждый уровень требует своих подходов. Индивидуальное здоровье оценивается по личному благополучию, наличию или отсутствию заболеваний, инвалидности, физическому состоянию и развитию. Здоровье населения рассматривается в рамках общественного здравоохранения, а при оценке общественного здоровья применяются специальные нормы и методы [1–2].

Рост отрицательной роли неинфекционных заболеваний в социально-экономическом развитии обуславливает постоянную необходимость мониторинга факторов риска их возникновения и прогрессирования, а также мотивации населения к преодолению этих факторов. Неинфекционные заболевания сегодня рассматриваются как глобальная проблема: только сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), сахарный диабет, новообразования и хронические респираторные заболевания в настоящее время вызывают более 60 % случаев смертей в мире. Самые эффективные меры снижения уровня неинфекционных заболеваний заключаются в предупреждении их развития, а именно, – воздействие на популяционном и индивидуальном уровне на поведенческие факторы риска: курение, употребление алкоголя, чрезмерное употребление соли, низкая физическая активность, избыточная масса тела, нездоровое питание [3].

Для оценки распространенности заболеваемости был проведен ретроспективный анализ заболеваемости взрослого населения г. Быхова за период с 2007 по 2018 год; проанализирована динамика и выявлены основные тенденции общей и первичной заболеваемости населения.

В работе была проанализирована структура общей и первичной заболеваемости населения г. Быхова на начало (2007 год) и конец (2018 год) изучаемого периода.

Отмечено, что первые ранговые места в структуре общей заболеваемости в 2007 году занимали следующие заболевания: болезни системы кровообращения (23,54%), болезни органов дыхания (19,74%), болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (11,03%), заболевания по классу «Травмы, отравления и некоторые другие воздействия внешних причин» – 6,74% и психические расстройства – 6,38%.

В конце исследуемого периода структура общей заболеваемости населения г. Быхова изменилась. На первом ранговом месте также болезни органов системы кровообращения – 33,06%; на втором ранговом месте – болезни органов дыхания – 14,81%; на третьем месте – болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани 10,76%; на четвертом – болезни органов пищеварения – 5,96%, и на пятом новообразования – 5,77%.

Первые ранговые места в структуре первичной заболеваемости в 2007 году занимали болезни органов дыхания (36,2%), на втором месте – заболевания по классу «Травмы, отравления и некоторые другие воздействия внешних причин» – 15,2%, на третьем месте – болезни системы кровообращения (7,22 %), на четвертом – болезни кожи и подкожной клетчатки (5,65%) и на пятом – болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани – 5,62 %.

В конце исследуемого периода структура первичной заболеваемости населения г. Быхова несколько изменилась. На первом ранговом месте также заболевания органов дыхания (45,75 %); на втором месте – болезни системы кровообращения – 17,47%; на третьем месте – заболевания по классу «Травмы, отравления и некоторые другие воздействия внешних причин» (9,06 %); на четвертом – болезни кожи и подкожной клетчатки (5,08 %) и на пятом месте – болезни мочеполовой системы – 4,46 %.

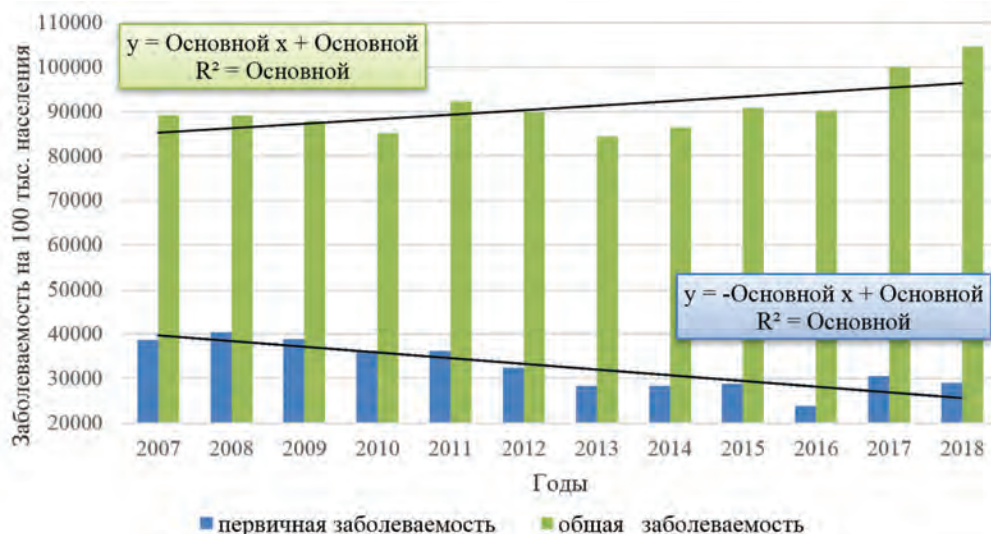


Рисунок – Динамика общей и первичной заболеваемости населения г. Быхова, 2007–2018 гг., на 100000 населения

Таблица – Темпы прироста общей и первичной заболеваемости взрослого населения г. Быхова, 2007–2018, %

год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Первичная заболеваемость												
Т, %		4,49	-4,11	-6,84	0,24	-10,69	-12,37	0,18	1,60	-17,63	28,76	-5,40
Общая заболеваемость												
Т, %		-0,15	-1,43	-3,11	8,43	-2,56	-6,11	2,42	4,96	-0,65	10,89	4,66

При анализе многолетней динамики (2007–2018 гг.) общей и первичной заболеваемости населения г. Быхова была отмечена тенденция к росту общей заболеваемости и выраженному снижению первичной заболеваемости (рис.). Среднегодовой показатель первичной заболеваемости (A_0) составлял 32654,41 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -1277,3 на 100 тыс. населения. Среднегодовой показатель общей заболеваемости (A_0) составлял 90859,4 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 1010,6 на 100 тыс. населения.

Анализ годовых темпов прироста общей и первичной заболеваемости населения г. Быхова в период с 2007 по 2018 год представлен в таблице.

В работе была проанализирована динамика заболеваемости населения г. Быхова, занимающей первые ранговые места в структуре заболеваемости.

Анализ динамики первичной и общей заболеваемости населения г. Быхова болезнями органов дыхания выявил тенденцию к снижению первичной и общей заболеваемости за исследуемый период наблюдения.

Среднегодовой показатель первичной заболеваемости населения болезнями органов дыхания (A_0) составлял 14442,19 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -456,43 на 100 тыс. населения. Среднегодовой показатель общей заболеваемости населения болезнями органов дыхания (A_0) составлял 16690,95 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -522,27 на 100 тыс. населения.

Анализ динамики первичной заболеваемости населения г. Быхова по классу «Травмы, отравления и некоторые другие воздействия внешних причин» выявил тенденцию к выраженному снижению общей заболеваемости, при анализе первичной заболеваемости было выявлено изменение в сторону снижения заболеваемости.

Среднегодовой показатель общей заболеваемости населения г. Быхова по классу «Травмы, отравления и некоторые другие воздействия внешних причин», (A_0) составлял 3936,47 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -246,33 на 100 тыс. населения. Среднегодовой показатель первичной заболеваемости (A_0) составлял 3832,08 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -240,23 на 100 тыс. населения.

Анализ динамики первичной и общей заболеваемости населения г. Быхова болезнями системы кровообращения выявил тенденцию к росту общей заболеваемости, а при анализе первичной заболеваемости не было отмечено выраженных изменений в сторону снижения или роста заболеваемости за исследуемый период наблюдения.

Среднегодовой показатель первичной заболеваемости населения г. Быхова болезнями системы кровообращения (A_0) составлял 3457,35 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 78,917 на 100 тыс. населения. Среднегодовой показатель общей заболеваемости (A_0) составлял 24658,58 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 1001,1 на 100 тыс. населения.

Анализ динамики первичной и общей заболеваемости населения г. Быхова болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани показал выраженный устойчивый рост общей заболеваемости и было выявлено снижение первичной заболеваемости.

Среднегодовой показатель общей заболеваемости населения г. Быхова болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани (A_0) составлял 10236,36 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 110,72 на 100 тыс. населения. Среднегодовой показатель первичной заболеваемости (A_0) составлял 1346,52 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -122,53 на 100 тыс. населения.

Анализ динамики первичной заболеваемости населения г. Быхова болезнями кожи и подкожной клетчатки выявил тенденцию к выраженному снижению заболеваемости. Среднегодовой показатель первичной заболеваемости (A_0) составлял 948,91 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -170,05 на 100 тыс. населения.

Анализ динамики первичной заболеваемости населения г. Быхова болезнями мочеполовой системы выявил тенденцию к снижению заболеваемости. Среднегодовой показатель первичной заболеваемости населения г. Быхова болезнями мочеполовой системы (A_0) составлял 1034,13 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -55,038 на 100 тыс. населения.

Анализ динамики общей заболеваемости населения г. Быхова болезнями пищеварительной системы выявил тенденцию к выраженному росту заболеваемости. Среднегодовой показатель общей заболеваемости (A_0) составлял 5545,06 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 178,89 на 100 тыс. населения.

Так, в результате анализа динамики заболеваемости взрослого населения г. Быхова было выявлено снижение заболеваемости населения города болезнями органов дыхания, заболеваниями костно-мышечной системы и соединительной ткани, мочеполовой системы и по классу заболеваний «Травмы, отравления и некоторые другие воздействия внешних причин». Выявлено выраженное снижение первичной заболеваемости болезнями кожи и подкожной клетчатки и выраженный рост заболеваемости населения области болезнями пищеварительной системы.

Отмечен устойчивый рост заболеваемости населения болезнями костно-мышечной системы, рост заболеваемости болезнями системы кровообращения, а также выраженное снижение заболеваемости населения города болезнями органов дыхания и выраженное снижение заболеваемости по классу «Травмы, отравления и некоторые другие воздействия внешних причин».

Таким образом, полученные результаты анализа заболеваемости населения г. Быхова, свидетельствуют о необходимости поиска методов и средств повышения эффективности диспансерного наблюдения, как путем повышения мотивации и приверженности пациентов к назначенному лечению, так и путем совершенствования его проведения, в том числе с использованием современных в области информационных технологий методов работы

(электронная медицинская карта, электронная форма учета и проведения диспансеризации, профилактического медицинского осмотра и диспансерного наблюдения и др.).

Огромный и далеко не полностью использованный резерв профилактики и снижения смертности от неинфекционной заболеваемости, имеют профилактические прививки от инфекционных заболеваний, в частности от гриппа. Грипп провоцирует и осложняет течение практически всех заболеваний и нередко является причиной декомпенсации, осложнения и летального исхода сердечно-сосудистых, бронхо-легочных и онкологических заболеваний.

Работа по улучшению медико-демографической ситуации должна строиться на основе межведомственного взаимодействия всех заинтересованных служб и организаций Быховского района, в том числе, путем проведения информационно-просветительной работы по профилактике табакокурения, пьянства, болезней системы кровообращения, онкологических заболеваний, внешних причин смерти и др.

Одним из главных профилактических направлений сохранения здоровья работающего населения является своевременное прохождение работниками обязательных предварительных при поступлении на работу, периодических и внеочередных медицинских осмотров. Осуществление медицинских осмотров работающих является необходимой мерой по выявлению профзаболеваний на ранней стадии, предупреждению тяжелых форм патологии, выявлению первичных профессиональных заболеваний, которые являются противопоказанием для работы во вредных условиях труда, в противном случае существует угроза роста показателей инвалидности, резко снижается эффективность реабилитации больных.

В настоящее время реализуемая в Республике Беларусь Государственная программа «Здоровье народа и демографическая безопасность» включила целый ряд позиций для достижения качественно нового уровня здоровья нации. В тоже время в условиях глобальных тенденций нарастания социального и экологического груза сохраняется актуальность повышения эффективности мероприятий по дальнейшему снижению распространенности болезней среди населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авалиани, С. Л.* Приоритеты профилактического здравоохранения в устойчивом развитии общества: состояние и пути решения проблем / С. Л. Авалиани, С. М. Новиков, Т. А. Шашина // Матер. пленума научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды. – Минск, 2013. –С. 16 – 24.
2. *Глушанко, В. С.* Общественное здоровье и здравоохранение: пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / В.С. Глушанко. Под ред. В. П. Дейкало. –Витебск: ВГМУ, 2011. – 491 с.
3. Здоровье население региона и приоритеты здравоохранения [Текст] / Под ред. акад. РАМН, проф. О. П. Щепина, чл.-корр. РАМН, проф. В. А. Медика. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2010. – 384 с.

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ТАБАКОКУРЕНИЯ В МОЛОДЕЖНОЙ СРЕДЕ

EPIDEMIOLOGICAL AND SOCIAL ASPECTS OF TOBACCO SMOKING AMONG YOUNG PEOPLE

А. К. Корбан^{1,2}, М. А. Дубина^{1,2}

A. Korban^{1,2}, M. Dubina^{1,2}

¹*Белорусский государственный университет, БГУ*

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

¹*Belarusian State University, BSU*

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

Одним из наиболее широко распространенных факторов, губительно влияющих на здоровье, можно назвать табакокурение, которое относится к социально-экологическим факторам развития заболеваний человека. В мире этой вредной привычке подвержено около 60 % мужчин и 20 % женщин. Курение достаточно широко распространено среди различных групп населения, включая молодое поколение. В Беларуси от болезней, связанных с курением, ежегодно умирает около 15,5 тысячи человек [1].

В рамках исследования табакокурения среди молодежи был проведен анализ социальных аспектов распространенности курения среди студентов УО «МГЭИ им. А.Д. Сахарова» БГУ: проведено анкетирование

студентов 1–4 курсов в 2020 г., проанализированы его результаты, а также проведен сравнительный анализ результатов анкетирования студентов, проведенных в 2010 г., 2015 г. и 2020 г.

One of the most widespread factors detrimental to health is smoking, which is one of the socio-ecological factors in the development of human diseases. In the world, about 60 % of men and 20 % of women are subject to this bad habit. Smoking is quite widespread among various groups of the population, including the younger generation. In Belarus, about 15.5 thousand people die every year from smoking-related diseases [1].

As part of the study of tobacco smoking among young people, an analysis was made of the social aspects of the prevalence of smoking among students of International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University: a survey of students of 1-4 years was conducted in 2020, its results were analyzed, and a comparative analysis of the results of a survey of students conducted in 2010, 2015 and 2020 was carried out.

Ключевые слова: табакокурение, табачная зависимость, эпидемиология курения, тенденция.

Keywords: tobacco smoking, tobacco addiction, epidemiology of smoking, trend.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-51-54>

Одним из наиболее распространенных в мире факторов, оказывающих отрицательное влияние на здоровье, является табакокурение, которое относят к средово-социальным экологическим факторам развития болезней человека. В Беларуси курит около половины населения в возрасте старше 16 лет, 2/3 мужчин и достаточно значительная часть молодежи.

В связи с масштабом распространения этой, несомненно, вредной привычки в социуме, инициируемые ей нарушения здоровья относят к так называемым «болезням цивилизации», а среди последних – к болезням загрязнения, обусловленным загрязнением как внешней, так и внутренней среды организма.

Следует отметить, что при табакокурении, как и при воздействии других социальных и средовых факторов (злоупотреблении алкоголем, лекарственными препаратами, употреблением психоактивных и наркотических веществ), причиной нарушений здоровья и в последующем - развития заболеваний является поведение (образ жизни) людей.

Курящие подвергают опасности не только себя, но и окружающих их людей. Вдыхание табачного дыма некурящими называют «пассивным курением». Табачный дым, который вынуждены вдыхать «пассивные курильщики», содержит в 50 раз больше различных канцерогенов и аммиака, в 5 раз больше окиси углерода, вдвое больше смол и никотина, чем поступает в организм самого курильщика.

По данным многочисленных исследований ежегодно курение табака является причиной преждевременной смерти до шести миллионов жителей во всем мире. Курильщики, не бросившие свою пагубную привычку, живут на 10 лет меньше по сравнению с людьми, никогда не курившими, при этом болезни, связанные со старением, регистрируются у них на 10 лет раньше, чем у некурящих. Более того, установлено, что около 25 заболеваний ассоциировано с табакокурением.

Среди болезней, развитие которых связывают с курением, следует отметить ишемическую болезнь сердца, атеросклероз, рак легких, рак пищевода и рак желудка [2-3]. По данным IARC, ВОЗ ведущей причиной развития рака легкого является курение табака, на его долю приходится более двух третей случаев смерти от этой болезни в мире [4].

В рамках исследования табакокурения среди молодежи был проведен анализ социальных аспектов распространенности курения [5] среди студентов УО «МГЭИ им. А.Д. Сахарова» БГУ: проведено анкетирование студентов 1-4 курсов (таблица) в 2020 г., проанализированы его результаты, а также проведен сравнительный анализ результатов анкетирования студентов УО «МГЭИ им. А. Д. Сахарова» БГУ, проведенных в 2010 г., 2015 г. и 2020 г.

Таблица – Распределение курящих студентов по курсам

Курс	Удельный вес, ($P \pm S_p$)		
	Всего	Молодые люди	Девушки
1	16,47 $\pm$ 5,08	6,33 $\pm$ 2,45	10,14 $\pm$ 4,24
2	24,63 $\pm$ 5,26	8,91 $\pm$ 3,57	15,72 $\pm$ 4,59
3	28,48 $\pm$ 6,02	8,64 $\pm$ 2,89	19,84 $\pm$ 5,12
4	11,72 $\pm$ 3,87	1,58 $\pm$ 1,26	10,14 $\pm$ 4,11
1–4	20,33 $\pm$ 5,01	6,37 $\pm$ 2,54	13,96 $\pm$ 4,52
A1, %	-0,51 ($R^2=0,015$)	-0,73 ($R^2=0,15$)	0,21 ($R^2=0,006$)

По результатам анкетирования, проведенного в 2020 году, было выявлено, что наибольший удельный вес курящих молодых людей отмечен на 2 курсе (8,91 $\pm$ 3,57%), среди девушек – на 3 курсе (19,84 $\pm$ 5,12%). Следует отметить, что удельный вес курящих юношей в 2 раза ниже, чем курящих девушек. Тенденция снижения числа курящих студентов составляет $A_1=-0,51\%$, с 1-го по 4-ый курс.

Удельный вес студентов, бросивших курить, составляет $20,33 \pm 5,54\%$. К 4-ому курсу наблюдается увеличение числа бросивших курить – $30,31 \pm 6,74 \%$. Удельный вес девушек, бросивших курить, выше в 3,6 раз удельного веса бросивших курить молодых людей ($15,93 \pm 5,09\%$ и $4,40 \pm 3,16\%$ соответственно). Среди юношей максимальное значение удельного веса бросивших курить было отмечено на 3-ем курсе ($7,82 \pm 4,80\%$), среди девушек – на 4-ом курсе ($27,16 \pm 6,14\%$). Тенденция роста числа студентов, бросивших курить, с 1-го по 4-ый курс составила $A_1=4,04\%$.

Максимальное число студентов, которые предпринимали попытку бросить курить, отмечено на 4-ом курсе – $24,61 \pm 4,78\%$. Наибольший удельный вес девушек, которые пытались бросить курение отмечено на 4-ом курсе ($21,12 \pm 6,19\%$), а среди молодых людей – на 1-ом курсе ($7,96 \pm 3,83\%$). Девушки чаще совершали попытки бросить курить по сравнению с молодыми людьми, что может свидетельствовать о более осознанном подходе к вопросам отрицательного влияния курения на организм.

Наибольший удельный вес молодых людей, оба родителя которых курят, отмечен на 1-ом курсе ($15,15 \pm 6,63 \%$). Наибольший удельный вес девушек, оба родителя которых курят, отмечен на 1-ом курсе ($15,39 \pm 6,24\%$), наименьший удельный вес – на 3-ем курсе ($7,61 \pm 4,75\%$).

Основной возраст, в котором студенты начинали курить, это 15-16 лет, т.е. в 10-11-ом классе школы – $44,54 \pm 5,07\%$. Также большой процент опрошенных начал курить в 17-18 лет, т.е. 1-ый курс университета – $27,68 \pm 4,22\%$. На возраст 13-14 и 19-20 лет приходится $15,87 \pm 3,95\%$ и $11,91 \pm 2,16\%$ соответственно.

Главной причиной, мотивирующих студентов к курению, является причина с формулировкой «за компанию» – $40,14 \pm 5,25\%$, причем девушки курят «за компанию» в 3,6 раз чаще, чем молодые люди. Чтобы расслабиться курит $23,67 \pm 3,76\%$ опрошенных, причем молодые люди курят для снятия нервного напряжения в 1,6 раз реже, чем девушки. По привычке и от безделья курит – $20,37 \pm 3,42\%$ и $15,82 \pm 3,31\%$ соответственно.

Основной причиной, обуславливающей начало курения, является интерес – $50,47 \pm 3,75\%$. На 2-ом месте – компания, что подтверждает предположение о влиянии курящих друзей на приобщение к курению. От безделья, и чтобы почувствовать себя взрослым закурил не очень большой процент студентов – $2,47 \pm 1,05\%$ и $5,87 \pm 1,23\%$ соответственно. Девушки курят в 2,6 раз чаще в результате стресса, чем молодые люди.

Удельный вес студентов, которые осведомлены о вреде курения и в частности никотина, приближается к 100 %. На 4-ом курсе наибольший удельный вес студентов, которых не интересует проблема вреда никотина для здоровья ($15,29 \pm 3,66\%$). В результате анкетирования стал очевидным факт того, что студенты достаточно хорошо информированы о вреде курения. Однако следует отметить, что информированность в большинстве случаев носит теоретический характер и не является основанием молодых людей и девушек для отказа от курения.

Большинство студентов всех курсов негативно относятся к возможному курению потенциальных детей. Наибольший удельный вес студентов, которые не против возможного курения будущих детей, отмечено на 1-ом курсе ($2,93 \pm 0,23\%$).

В результате проведенного сравнительного анализа выявлены достоверные различия в сторону увеличения удельного веса всех курящих студентов, девушек и молодых людей с 1-го по 4-ый курс в анализируемые годы.

Наибольший удельный вес курящих студентов отмечен на 4-ом курсе ($51,4 \%$; 2010 г.), среди курящих молодых людей – на 3-ем курсе ($77,8 \%$; 2010 г.), а среди девушек – на 4-ом курсе ($46,7 \%$; 2010 г.).

Выявлены достоверные различия в сторону роста показателей удельного веса студентов, бросивших курить по результатам опроса в 2020 году по сравнению с 2010 и 2015 годами во всех 3-х группах.

Наибольший удельный вес студентов, которые предпринимали попытку бросить курить, отмечен на 4-ом курсе ($24,61 \%$; 2020 г.), среди молодых людей – на 1-ом курсе ($55,6 \%$; 2010 г.), а среди девушек, пытавшихся бросить курить – на 4-ом курсе ($21,12 \%$; 2020 г.).

По итогам анкетирования в 2010 г., 2015 г., 2020 г. основным возрастом, в котором студенты начали курить был возраст 17-18 лет в 2010 году ($42,5 \%$), 15-16 лет в 2015 и 2020 гг. ($40,71\%$; $44,54 \%$ соответственно).

Главной причиной первой попытки курения среди студентов, опрошенных в 2010 г., 2015 г. и 2020 г. является «интерес» ($26,4 \%$, 50% и $50,47 \%$ соответственно).

Таким образом, исследование табакокурения среди молодежи, проведенного на базе УО «МГЭИ им. А. Д. Сахарова» БГУ, позволило сделать следующие выводы:

1. Наибольший удельный вес курящих молодых людей отмечен на 2 курсе ($8,91 \pm 3,57\%$), среди девушек – на 3 курсе ($19,84 \pm 5,12 \%$). Следует отметить, что удельный вес курящих молодых людей в 2–3 раза ниже, чем курящих девушек. Тенденция снижения числа курящих студентов составляет $A_1=-0,51\%$, с 1-го по 4-ый курс, что может свидетельствовать об умеренной тенденции к снижению курения среди молодежи.

2. Удельный вес девушек, бросивших курить, выше в 3,6 раз удельного веса бросивших курить молодых людей ($15,93 \pm 5,09\%$ и $4,40 \pm 3,16\%$ соответственно). Среди молодых людей максимальное значение удельного веса бросивших курить отмечено на 3-ем курсе ($7,82 \pm 4,80 \%$), среди девушек – на 4-ом курсе ($27,16 \pm 6,14\%$).

3. Максимальное число студентов, оба родителя которых курят, зафиксировано на 1-ом курсе – $30,54 \pm 5,98\%$.

4. Удельный вес девушек, большинство друзей которых курят, выше почти в 2,6 раз, чем удельный вес молодых людей, большинство друзей которых курят.

5. Основной возраст, в котором студенты начали курить – 17–18 лет в 2010 году и 15-16 лет в 2015 и 2020 гг., т.е. в 10-11-ом классе школы – $44,54 \pm 5,07 \%$. Также большой процент опрошенных начал курить в 17–18 лет, т.е. 1-ый курс университета – $27,68 \pm 4,22 \%$. Таким образом, главные усилия по профилактике курения должны быть направлены на старшеклассников и студентов 1-го курса.

6. Главной причиной, обуславливающей мотивацию курения, является компания - $40,14 \pm 5,25\%$, причем девушки курят за компанию в 3,6 раз чаще, чем молодые люди.

7. Основной причиной, обуславливающей первую попытку курения, является интерес – $50,47 \pm 3,75\%$. Девушки курят в 2,6 раз чаще в результате стресса, чем молодые люди.

8. Удельный вес студентов, которые осведомлены о вреде курения (никотина) составляет почти 100%. Также почти 100%-ая осведомленность и заинтересованность здоровьем будущих детей была отмечена среди студентов всех курсов.

10. Большинство студентов всех курсов негативно относятся к возможному курению потенциальных детей. Наибольший удельный вес студентов, которые не против возможного курения будущих детей, было отмечено на 1-ом курсе ($2,93 \pm 0,23\%$).

Табакокурение представляет интерес для изучения по причине превращения его в массовую «эпидемию», распространившуюся среди мужчин, женщин, подростков и даже детей (во всем мире курит свыше одного миллиарда человек). Табакокурение является одной из самых вредных привычек, так как опасно для здоровья не только курящих, но и окружающих. Большинство людей знает о том, что курение табака вредно для здоровья, однако далеко не все представляют истинные масштабы его последствий.

В настоящее время исследования ученых, результаты медицинских осмотров и социологических опросов убедительно доказывают ухудшение здоровья детей школьного возраста. В современном обществе подростки склонны к приобретению все большего количества зависимостей, одной из них является курение, справиться с которым без помощи специалистов порой не представляется возможным.

Курение приводит к снижению устойчивости организма к инфекционным заболеваниям, к ранней потере трудоспособности, а также является фактором риска онкологических, заболеваний сердечно-сосудистой системы и органов дыхания. По данным Всемирной Организации Здравоохранения около 90% всех заболеваний новообразованиями легких, 75% всех случаев хронических нефритов, а также 25% заболеваний сердечно-сосудистой системы приходится на курящих людей. 40 % заядлых курильщиков умирают не достигнув возраста 65-ти лет.

Актуальность и масштаб проблемы курения среди молодежи, особенно девушек, возрастает с каждым годом, а в виду того, что формирование этой зависимости происходит, зачастую, в подростковом возрасте, становится очевидной необходимость систематического распространения среди учеников школ как младшего, так и среднего/старшего возрастов антитабачной информации.

Борьба с табакокурением является сложной и достаточно многоплановой проблемой, включающей не только социальные, но и психологические, экономические, юридические и другие аспекты.

Стратегической задачей борьбы с курением является изменение отношения населения к курению, осознание достаточно серьезной опасности этой негативной привычки для здоровья и жизни человека, предупреждение начала курения среди молодого поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова, А. А.* Профилактика курения у подростков / А. А. Александрова // Вопросы психологии. – 2008. – № 2. – 55 с.
2. *Дзюбайло, А. В.* Аспекты формирования хронической обструктивной болезни легких у курящих пациентов с разной степенью никотиновой зависимости /А. В. Дзюбайло ; Минздравсоцразвития СО, ГОУ ВПО «СамГМУ» Росздрава. – Самара : Издво «Универс групп», 2010. – 124 с.
3. *Жукова, О. В.* Концепция факторов риска в оценке влияния курения на обострения хронической обструктивной болезни легких [Текст] / О. В. Жукова, Т. М. Коньшкіна, С. В. Кононова // Терапевтический архив. – 2015. – № 3. – 23 с.
4. *Hecht, S.* Tobacco carcinogens, their biomarkers and tobacco-induced cancer./ S. Hecht // Nature Reviews. Cancer (Nature Publishing Group). – 2003. - Vol.3 (10)/ – P. 733–744.
5. *Мокина, Н. А.* Практическое применение международных клинических рекомендаций по отказу от табакокурения у подростков: конечные оценочные точки и эффективность вмешательств /Н. А. Мокина// Наркология. – 2015. – № 1. – С. 16–19.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ БРАСЛАВСКОГО РАЙОНА (2015–2019 гг.)

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF INCIDENCE OF THE POPULATION OF BRASLAV DISTRICT (2015–2019)

В. В. Станюль^{1,2}, М. А. Дубина^{1,2}

V. Stanyul^{1,2}, M. Dubina^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

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

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Общая заболеваемость населения Беларуси за последние семь лет возросла на 5,1%. При этом соотношение общей и первичной заболеваемости составило в 2005 году 1,75%, а в 1999-м было 1,63%. Это говорит о том, что в структуре общей заболеваемости преобладают хронические заболевания. Важнейшими проблемами общественного здоровья в Беларуси являются преобладание смертности над рождаемостью, высокая смертность трудоспособного населения, прогрессирующая алкоголизация вкупе с легкомысленным отношением граждан к своему здоровью [1].

В работе была проанализирована заболеваемость населения Браславского района за период с 2015 по 2010 год и выявлены основные тенденции.

The overall incidence of the population of Belarus over the past seven years has increased by 5.1%. At the same time, the ratio of general and primary morbidity in 2005 was 1.75%, and in 1999 it was 1.63%. This suggests that chronic diseases prevail in the structure of the general morbidity. The most important problems of public health in Belarus are the predominance of mortality over fertility, high mortality among the able-bodied population, progressive alcoholism, coupled with the frivolous attitude of citizens to their health [1].

The paper analyzed the incidence of the population of Braslav region for the period from 2015 to 2010 and identified the main trends.

Ключевые слова: болезнь, заболеваемость, население, тенденция.

Keywords: disease, incidence, population, trend.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-55-58>

Заболеваемость – важнейший показатель состояния общественного здоровья, характеризующий распространенность, структуру и динамику зарегистрированных врачами болезней среди населения в целом или в отдельных его группах (возрастных, половых, территориальных, профессиональных и др.) и служащий одним из критериев оценки работы врача, медицинского учреждения, органа здравоохранения [2].

Заболеваемость населения характеризуется числом больных, выявленных при обращении населения по поводу заболевания в лечебно-профилактические учреждения или при профилактическом осмотре. Уровень заболеваемости определяется отношением числа больных к среднегодовой численности постоянного населения. Первичная заболеваемость регистрируется при установлении больного диагноза впервые в жизни. Общая заболеваемость населения характеризуется общим числом больных, зарегистрированных в течение года. При этом учитываются больные, которым диагноз установлен как впервые, так и при повторном (многократном) обращении по поводу данного заболевания.

На основании информации о числе случаев заболеваний взрослого населения, проживающего в Браславском районе, был проведен сравнительный анализ структуры общей и первичной заболеваемости взрослого населения в 2015 г. и в 2019 г.

В структуре общей заболеваемости в 2015 и 2019 гг. первое ранговое место занимают болезни системы кровообращения (30,52 % и 29,86 % соответственно).

Второе место в 2015 г. – болезни органов дыхания (14,42 %), а в 2019 г. – болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (11,49 %).

Третье место в 2015 г. – болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (10,52), в 2019 г. – болезни органов дыхания (11,49 %).

В результате проведенного анализа было отмечено, что в 2019 г. по сравнению с 2015 г. произошло незначительное снижение показателей по отдельным нозологическим формам: болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания, болезни глаз и его придаточного аппарата.

Также можно отметить и повышение некоторых показателей в 2019 г.: болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ, болезни кожи и подкожной клетчатки, болезни мочеполовой системы.

В структуре первичной заболеваемости первое место в 2015 и 2019 гг. занимали болезни органов дыхания (31,29% и 21,67% соответственно).

На втором месте в 2015 г. находились болезни глаза и его придаточного аппарата (13,38%), а в 2019 г. - болезни мочеполовой системы (16,38%).

Третье место в структуре первичной заболеваемости в 2015 г. занимали травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин (12,56%), в 2019 г. – болезни кожи и подкожной клетчатки (16,38%).

Анализ заболеваемости взрослого населения Браславского района за период 2015–2019 выявил выраженный рост общей и рост первичной заболеваемости (рис.).

Среднегодовой показатель частоты первичной заболеваемости - $A_0=48273,56$ ‰, ежегодный показатель тенденции $A_1=2195,61$ ‰. Соответствующие показатели для общей заболеваемости составили - $A_0=119859,31$ ‰, $A_1=4577,26$ ‰.

Также в ходе работы был проведен анализ темпов прироста общей и первичной заболеваемости взрослого населения, обслуживающегося в УЗ «Браславская ЦРБ» за период 2015–2019 гг. Отмечено, что наибольший прирост общей заболеваемости взрослого населения Браславского района был отмечен в 2016 г. и составил 10,60 ‰, а первичной заболеваемости – в 2016 г. (22,07 ‰).

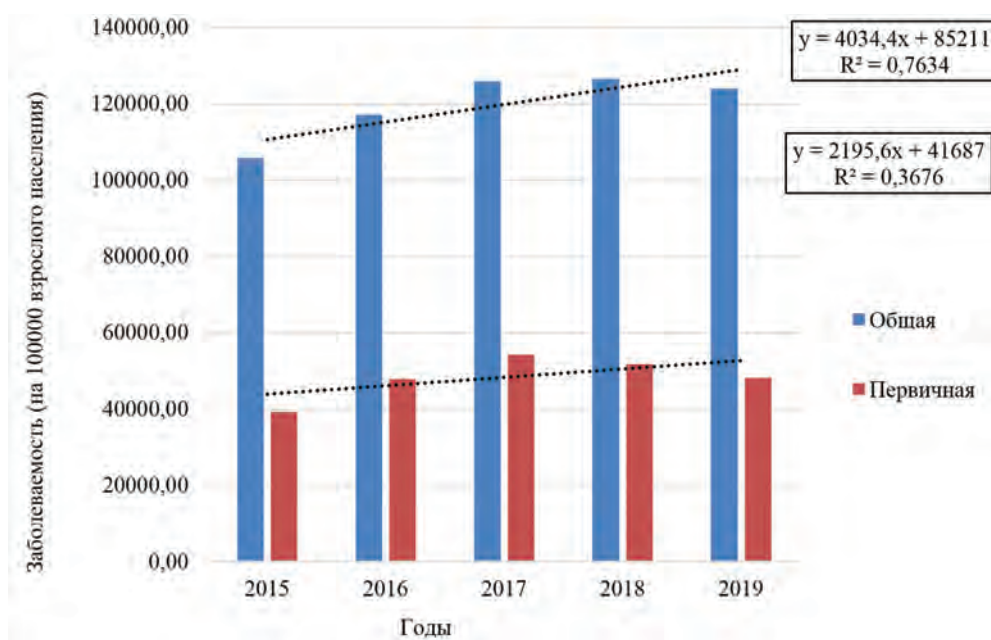


Рисунок – Динамика общей и первичной заболеваемости взрослого населения Браславского района (на 100000 населения) за период 2015–2019 гг.

В работе был проведен анализ динамических рядов общей и первичной заболеваемости взрослого населения Браславского района за 2015–2019 гг. отдельными классами заболеваний, занимающими первые ранговые места в структуре заболеваемости.

Так при анализе общей заболеваемости населения Браславского района болезнями системы кровообращения за период с 2015 по 2019 год была отмечена выраженная динамика к росту заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 34814,1 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 1377,2 случаев на 100 тыс. населения.

Анализ общей заболеваемости населения Браславского района болезнями органов дыхания за период с 2015 по 2019 год выявил динамику к снижению заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 14247,64 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -716,55 случаев на 100 тыс. населения.

При анализе динамических рядов общей заболеваемости населения Браславского района болезнями эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ за период с 2015 по 2019 год была отмечена выраженная динамика роста заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 12760,21 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 781,89 случаев на 100 тыс. населения.

В динамике общей заболеваемости населения Браславского района болезнями глаза и его придаточного аппарата за период с 2015 по 2019 год была выявлена динамика к снижению заболеваемости. Среднегодовое значе-

ние показателя заболеваемости (A_0) составило 9435,51 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – - 2916,1 случаев на 100 тыс. населения.

Анализ общей заболеваемости населения Браславского района болезнями мочеполовой системы за период с 2015 по 2019 год выявил динамику к выраженному росту заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 6943,87 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 2609,6 случаев на 100 тыс. населения.

Анализ динамических рядов общей заболеваемости населения Браславского района болезнями кожи и подкожной клетчатки за период с 2015 по 2019 год выявил динамику к росту заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составил 6684,6 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 2223,3 случаев на 100 тыс. населения.

При анализе общей заболеваемости населения Браславского района болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани за период с 2015 по 2019 год была выявлена динамика к выраженному снижению заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 6041,95 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – - 226,33 случаев на 100 тыс. населения.

Таким образом, анализ динамики общей заболеваемости выявил, что за период 2015–2019 гг. возросла заболеваемость населения района болезнями системы кровообращения; болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушения обмена веществ; болезнями мочеполовой системы; а также кожи и подкожной клетчатки. В то же время было отмечено и снижение заболеваемости населения болезнями органов дыхания, болезнями глаза и его придаточного аппарата и болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани.

При анализе первичной заболеваемости населения Браславского района болезнями органов дыхания за период с 2015 по 2019 год была отмечена динамика к снижению заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 11186,67 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – - 638,76 случаев на 100 тыс. населения.

Анализ первичной заболеваемости населения Браславского района болезнями кожи и подкожной клетчатки за период с 2015 по 2019 год выявил динамику к росту заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составил 6135,92 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 2007,7 случаев на 100 тыс. населения.

В динамике первичной заболеваемости населения Браславского района по классу «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» за период с 2015 по 2019 год была отмечена выраженная динамика к снижению заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 5225,9 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – -357,52 случаев на 100 тыс. населения.

Анализ динамических рядов первичной заболеваемости населения Браславского района болезнями глаза и его придаточного аппарата за период с 2015 по 2019 год выявил динамику к снижению заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 5037,14 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – - 2067,7 случаев на 100 тыс. населения.

При анализе первичной заболеваемости населения Браславского района болезнями мочеполовой системы за период с 2015 по 2019 год была выявлена динамика к выраженному росту заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 4052,6 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 1993 случаев на 100 тыс. населения.

В динамике первичной заболеваемости населения Браславского района некоторыми инфекционными и паразитарными болезнями за период с 2015 по 2019 год отмечена динамика к росту заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 3791,71 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – 1308 случаев на 100 тыс. населения.

Анализ первичной заболеваемости населения Браславского района болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани за период с 2015 по 2019 год выявил динамику к снижению заболеваемости. Среднегодовое значение показателя заболеваемости (A_0) составило 2359,08 на 100 тыс. населения. Ежегодный показатель тенденций (A_1) – - 179,18 случаев на 100 тыс. населения.

Таким образом, анализ динамики первичной заболеваемости выявил, что за период 2015–2019 гг. возросла заболеваемость населения Браславского района болезнями кожи и подкожной клетчатки, болезнями мочеполовой системы, некоторыми инфекционными и паразитарными болезнями. Отмечено снижение заболеваемости населения болезнями органов дыхания; болезнями по классу «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин»; болезнями глаза и его придаточного аппарата; болезнями мочеполовой системы и болезнями костно-мышечной системы и соединительной ткани.

Стоит отметить, что за период реализации мероприятий Госпрограммы по Браславскому району достигнуты определенные позитивные тенденции основных медико-демографических показателей: регистрировались низкие показатели младенческой и перинатальной смертности, отсутствовали случаи материнской смерти. Вместе с тем продолжает оставаться напряженной общая демографическая ситуация. За девять месяцев 2019 года, например, в районе родилось 149 детей, а умерло 326 человек. В этом кроется причина отрицательного естественного прироста населения.

Медики констатируют, что и структуре причин общей смертности населения района первое место занимают болезни системы кровообращения, на втором – новообразования, на третьем – нервные болезни.

На этом фоне наблюдается снижение числа случаев смерти от болезней органов дыхания и по причине старости.

Способствовать укреплению здоровья браславчан призвана диспансеризация. За 9 месяцев 2019 года осматрено 14 188 человек (85,5 % от подлежащих осмотру), и трудоспособном возрасте – 8 513 (85,8 %), старше трудоспособного – 5 675 (84,9 %). На системной основе проводятся мероприятия, направленные на охрану здоровья матери и ребенка, развитие системы поддержки семей с детьми и улучшение условий их жизнедеятельности, обеспечение противопожарной безопасности домовладений (квартир) многодетных семей, борьбу с алкоголизмом, ВИЧ-инфекцией и другими вызовами современности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрязов, Р.В. Заболеваемость населения: причины и меры решения / Р.В.Абрязов [и др.]. // NovalInfo – 2016. – № 42-2. – С. 12–13.

2. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс] / Диабет. - ВОЗ, 2020. – Режим доступа: <http://www.who.int/ru>. – Дата доступа: 20.07.2020.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ БОЛЕЗНЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

CHARACTERISTICS OF THE ECOLOGICAL SITUATION AND THE INCIDENCE OF RESPIRATORY DISEASES OF THE POPULATION OF LARGE CITIES OF MINSK REGION

О. Н. Суша^{1,2}, В. Д. Свирид^{1,2}
O. N. Susha^{1,2}, V. D. Svirid^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by, sushaolya@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

По статистике, за последние годы в РБ лидирующую позицию среди всех заболеваний занимают болезни органов дыхания (48%). Актуальность обусловлена тем, что высокая распространенность и смертность от болезней дыхательной системы – не только медицинская, но и социальная проблема развития современного общества. Была поставлена задача провести анализ заболеваемости патологиями органов дыхания в мире и в РБ, проанализировать заболеваемость населения г. Минска и Минской области болезнями органов дыхания, провести анализ заболеваемости патологиями органов дыхания поликлинических учреждений города Минска, оценить загрязненность атмосферного воздуха Первомайского района города Минска и провести сравнительный анализ динамики заболеваемости патологиями органов дыхания населения, обслуживаемого в УЗ «28-я городская поликлиника» Первомайского района города Минска и УЗ «17-я городская поликлиника» Заводского района города Минска

According to statistics, in recent years, respiratory diseases have occupied a leading position among all diseases in the Republic of Belarus (48%). The relevance is due to the fact that the high prevalence and mortality from diseases of the respiratory system is not only a medical, but also a social problem of the development of modern society. The task was set to analyze the incidence of respiratory pathologies in the world and in the Republic of Belarus, to analyze the incidence of the population to analyze the incidence of respiratory diseases of Minsk and Minsk region, to assess the air pollution of the Pervomaisky district of Minsk and to conduct a comparative analysis of the dynamics of the incidence of respiratory diseases of the population served in the UZ «28th city polyclinic» of the Pervomaisky district of Minsk and the UZ «17th city polyclinic» of the Zavodsky district of Minsk

Ключевые слова: болезни органов дыхания, заболеваемость, население, поликлиника, экология, район.

Keywords: respiratory diseases, morbidity, population, polyclinic, ecology, district.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-58-61>

Органы дыхания – это система, отвечающая за снабжение организма кислородом и выведение таких продуктов жизнедеятельности, как углекислый газ.

Рост заболеваемости и смертности от болезней дыхательной системы в Беларуси обусловлен объективными и субъективными факторами: старением населения, финансово-экономической ситуацией, негативно сказывающейся на всех сторонах жизни населения, ростом психо-эмоциональных нагрузок, урбанизацией населения, изменением характера питания, условий жизни, труда, наличием у значительной части жителей многих факторов риска развития болезней дыхательной системы. В первую очередь широкой распространенностью курения, неблагоприятных профессиональных условиях, малоподвижным образом жизни, избыточной массой тела, отсутствием у населения мотивации к заботе о собственном здоровье, соблюдению здорового образа жизни. Высокая распространенность и смертность от болезней дыхательной системы – не только медицинская, но и социальная проблема развития современного общества.

В целях уменьшения заболеваемости и снижения смертности от болезней дыхательной системы важную роль играют выявление факторов риска, проведение профилактики и информирования общества о достигнутых результатах.

Объектом исследования являлись случаи заболеваемости болезнями органов дыхания среди населения города Минска по районам (Первомайский, Заводской, Центральный и т. д.) и Минской области за 2015 – август 2021 года.

Также случаи заболеваемости болезнями органов дыхания непосредственно учреждения здравоохранения, представляющие Первомайский и Заводской район города Минска за 2011–2021 год.

По статистике, за последние годы в РБ лидирующую позицию среди всех заболеваний занимают болезни органов дыхания (48%).

При проведении анализа заболеваемости в сравнении долей со всемирной распространенностью Республика Беларусь имеет 48% по заболеваемости населения патологиями органов дыхания. Россия в свою очередь имеет наивысший процент распространения патологий среди населения (63% – доля болезней органов дыхания в структуре заболеваемости).

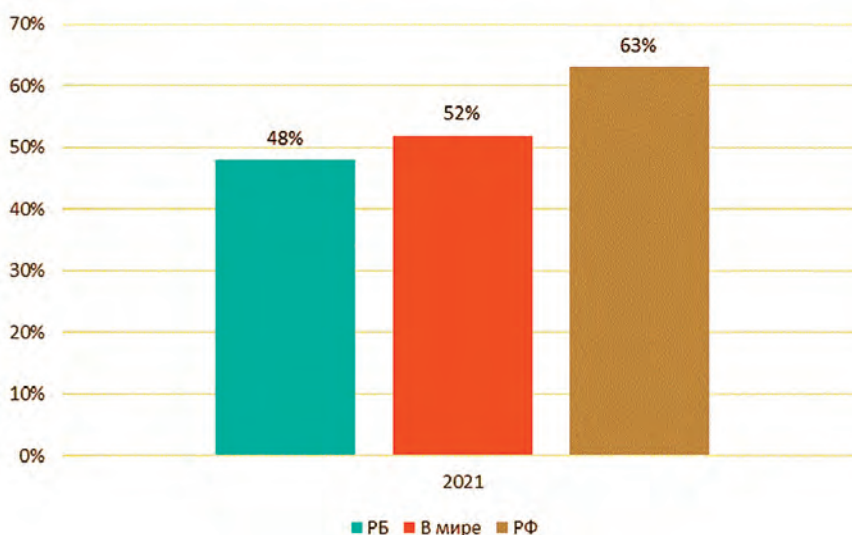


Рисунок 1 – Сравнение доли болезней органов дыхания и структуре общей заболеваемости между Республикой Беларусь, Российской Федерацией, и общемировой заболеваемостью (2021 г., в %)

Связано это с экологической обстановкой страны (состояние воздуха, воды, лесов, особенности ведения сельского хозяйства, государственная политика в области здравоохранения).

Заболеваемость патологиями органов дыхания по городу Минску выше, чем по Минской области за исследуемый период времени.

Так, на основе 25 показателей, среди которых состояние воздуха, воды, лесов, особенности ведения сельского хозяйства, государственная политика по сохранению биоразнообразия, а также показатели здоровья населения, связанные с влиянием окружающей среды, для каждой страны рассчитывается специальный экологический индекс – Environmental Performance Index.

Это может быть связано такими возможными факторами как высокая плотность населения, что увеличивает риск распространения отдельных видов данной группы патологий как малоподвижный образ жизни, ожирение, которые свойственны для населения больших городов. Также можно предположить действие пандемии Covid19 на заболеваемость дыхательной системы населения города Минска в 2021 году.

Территория Минска разделена на 9 административных единиц – районов. Среди них Заводской, Партизанский, Фрунзенский, Октябрьский, Московский, Ленинский, а также Советский, Первомайский и Центральный.

Показано, что в первой группе районов в рейтинге располагаются крупные промышленные предприятия, что сулит неблагоприятную экологическую обстановку и профессиональные факторы заболеваемости.

В анализируемый период по городу Минску большая часть больных возраста до 18 лет (2019 год – 65,35%, 2020 год – 66,03 %). В течении последних лет наблюдается динамика увеличения количества пациентов детского возраста и уменьшения доли взрослых (2019 год – 34,65%, 2020 год – 33,97%).

По Минской области наблюдается такая же динамика, так доля пациентов детского возраста увеличивается (2019 год – 67,26 %, 2020 год – 68,89 %), а доля взрослых пациентов уменьшается (2019 год – 32,74%, 2020 год – 31,11 %).

По вышеизложенному можно сделать вывод, что патологиями органов дыхания чаще болеют пациенты до 18 лет по городу Минску и Минской области, связано это с неокрепшим иммунитетом и несформированностью организма у детей.

Можно сделать вывод, что у половины крупных городов Минской области (Борисов, Дзержинск, Солигорск) наблюдается значительное увеличение общей заболеваемости патологиями органов дыхания в течении последних лет среди населения.

А по таким городам Минской области как Молодечно и Слуцк, наблюдается незначительное заболевание этой группой патологий.

Данная ситуация может быть связана с особенностями экологической обстановки, сравнительно большим количеством крупных промышленных предприятий и как итог - большая роль профессиональных факторов (электросварка – соли никеля, испарения стали).

Также может быть связано такими возможными факторами как высокая плотность населения, неправильное питание, что свойственно для крупных городов. Также можно объяснить действиями городского муниципалитета, не направленными на улучшение экологической обстановки в городе.

Минск является крупным промышленным центром республики, в котором находится более 1300 предприятий, осуществляющих эмиссию загрязняющих веществ в воздушный бассейн города. Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят предприятия теплоэнергетики, машиностроительной, металлообрабатывающей и электротехнической промышленности, промышленности строительных материалов. Транспорт, в первую очередь автомобильный, является самым значительным источником загрязнения атмосферного воздуха города. Динамика выбросов загрязняющих веществ за последние пять лет свидетельствует о тенденции к незначительному увеличению эмиссии, главным образом, за счет передвижных источников.

Эмиссия серы диоксида на 92 % обусловлена стационарными источниками. основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются РУП «Минский тракторный завод», филиалы РУП «Минскэнерго»: «ТЭЦ-3», «ТЭЦ-4», «Минские тепловые сети»; КУПП «Минскводоканал», РУП «Минский автомобильный завод», ОАО «Минский завод отопительного оборудования», ОАО «Минский завод строительных материалов», ОАО «Керамин», ЗАО «Атлант», УП «Минсккоммунтеплосеть», УП «Минский моторный завод».

Мониторинг атмосферного воздуха г. Минск проводили на 12 пунктах наблюдений, в том числе на пяти автоматических станциях, установленных в районах пр. Независимости, 110, ул. Тимирязева, 23, ул. Радиальная, 50, ул. Корженевского и ул. Героев 120 Дивизии.

В 2011–2020 гг. административные районы Минска по плотности валовых выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников относились к 3 уровням. Для Фрунзенского, Заводского и Партизанского районов отмечен высокий уровень загрязнения (более 8 528 т), что объясняется значительным промышленным потенциалом этих территорий. В частности, во Фрунзенском районе расположена ТЭЦ-4 и завод отопительного оборудования, в Заводском – автомобильный завод, в Партизанском – тракторный и моторный завод. Октябрьский район характеризовался средним уровнем (1 995,4 т), остальные районы – пониженным уровнем загрязнения (менее 1 912 т).

Установлено, что районы Минска по рассмотренному показателю относились к 5 уровням. Для Фрунзенского и Заводского районов характерен высокий уровень загрязнения оксидом углерода (более 25,5 мг/м³), что объясняется значительной транспортной нагрузкой и высоким коэффициентом токсичности транспортного потока, для Ленинского района – повышенный (от 23,3 мг/м³), для Октябрьского, Советского и Партизанского – средний (от 12,4 до 21 мг/м³), для Первомайского – пониженный (10,7 мг/м³), а для остальных районов – низкий уровень загрязнения (менее 8 мг/м³). По средней озеленённости жилых зон административные районы относились к 5 уровням. Для Октябрьского района характерен высокий уровень озеленённости (более 49,88 %), для Советского района – повышенный (48,9 %), для Заводского и Партизанского – пониженный (от 41,66 до 43,71 %), для Центрального – низкий уровень (37,1 %), а для остальных районов – средний уровень озеленённости (от 43,72 до 49,87 %).

Мониторинг атмосферного воздуха г. Минска проводится на 12 пунктах наблюдений, в том числе на пяти автоматических станциях, установленных в районах пр. Независимости, 110, ул. Тимирязева, 23, ул. Радиальная, 50, ул. Корженевского и ул. Героев 120 Дивизии. можно предположить, что проживание в таких районах как Первомайский и Центральный города Минска будет благоприятно влиять на здоровье население. Также такие районы как Заводской и Партизанский города Минска не благоприятны для проживания.

УЗ "28-я городская поликлиника" начала свою деятельность с 9 марта 1992 года. Данная поликлиника является учреждением по организации и оказанию квалифицированной и специализированной помощи взрослому населению. На момент 2020-го года здесь обслуживается 35650 человек. УЗ «17-я городская поликлиника» начинает свою историю с 1975 года. На момент 2020-го года здесь обслуживается 36120 человек. Практически одинаковое количество обслуживаемого населения дает более точную динамику заболеваемости органов дыхания.

Анализ выше представленных данных показал, что население, обслуживаемое в УЗ «17-я городская поликлиника» города Минска подвержено больше заболеваниям органов дыхания, нежели УЗ «28-я городская поликлиника» города Минска. Связано это с неблагоприятной экологической обстановкой в Заводском районе города Минска, расположением заводов и несколько десятков предприятий, таких как Минский автомобильный завод, Подшипниковый завод, Белсчёттехника, Зеркальная фабрика, Молочный комбинат, Минскдрев, Минскжелезобетон и т.д. Приводящее как следствие развитие у населения аллергических реакций, приводящих к развитию хронических заболеваний дыхательной системы.

В свою очередь в Первомайском районе наблюдается большое количество крупных лесопарковых зон, скверов, лесных массивов, наличие небольшого количества промышленных предприятий, таких как Минский часовой завод, Маргариновый завод, завод «Термопласт» и завод им. Вавилова. Также на территории Первомайского района расположена Слепянская водная система, протяженностью 22 километра, по всей протяженности имеется несколько водозаборов и водохранилище.

Таким образом одним из основных факторов, влияющих на заболеваемость органов дыхания у населения, является экологическая обстановка, зависящая от техногенной загрязненности, создаваемой промышленными предприятиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс]. - 2021. - Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by> – Дата доступа: 23.02.2022.
2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 23.02.2022.
3. Статистический ежегодник Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: http://belstat.gov.by/homep/ru/publications/yearbook/2011/contents_Yerbook_2021.pdf – Дата доступа: 13.02.2022.
4. Савилов Е.Д. Применение статистических методов в эпидемиологическом анализе / Е.Д. Савилов, Л.М. Мамонтова, В.А. Астафьев // Минск, 2018. – 136 с.

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КРУПСКОГО РАЙОНА БОЛЕЗНЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF THE MORBIDITY OF THE POPULATION OF KRUPKI DISTRICT WITH RESPIRATORY DISEASES

Х. В. Драгун^{1,2}, Е. П. Живицкая^{1,2}

K. V. Dragun^{1,2}, E. P. Zhivitskaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
kaf_immunal@iseu.by, khristinadragun@yandex.ru

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Болезни органов дыхания представляют одну из наиболее распространенных патологий в структуре общей и первичной заболеваемости. Проведен анализ первичной заболеваемости болезнями органов дыхания взрослого населения Крупского района за период 2014–2020 гг. и определены тенденции заболеваемости. В структуре первичной заболеваемости взрослого населения болезни органов дыхания занимают первое ранговое место. Отмечается снижение первичной заболеваемости болезнями органов дыхания взрослого населения Крупского района. Основной вклад в структуру первичной заболеваемости болезнями органов дыхания по нозологическим формам взрослого населения в 2020 г. внесли острые респираторные инфекции дыхательных путей, пневмонии, хронический ринит, назофарингит, фарингит, синусит, астма и астматический статус, вазомоторный и аллергический ринит. Для острых респираторных вирусных инфекций, вазомоторного и аллергического ринитов характерно снижение первичной заболеваемости, а для пневмоний, хронических ринитов, назофарингитов, фарингитов и синуситов – увеличение показателей.

Respiratory diseases are one of the most common pathologies in the structure of general and primary morbidity. The analysis of the primary morbidity of respiratory diseases of the adult population of Krupki district for the period 2014–2020 was carried out and the trends of morbidity were determined. In the structure of the primary morbidity

of the adult population, respiratory diseases occupy the first rank place. There is a decrease in the primary incidence of respiratory diseases of the adult population of Krupki district. Acute respiratory infections of the respiratory tract, pneumonia, chronic rhinitis, nasopharyngitis, pharyngitis, sinusitis, asthma and asthmatic status, vasomotor and allergic rhinitis made the main contribution to the structure of the primary incidence of respiratory diseases by nosological forms of the adult population in 2020. Acute respiratory viral infections, vasomotor and allergic rhinitis are characterized by a decrease in primary morbidity, and for pneumonia, chronic rhinitis, nasopharyngitis, pharyngitis and sinusitis - an increase in indicators.

Ключевые слова: заболеваемость, болезни органов дыхания, структура, тенденции.

Keywords: morbidity, respiratory diseases, structure, trends.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-61-64>

Болезни органов дыхания представляют собой распространенную группу заболеваний, имеющих большое медико-социальное значение в связи с высокой распространенностью, зачастую прогрессирующим течением, приводящим к инвалидизации и смертности во всех возрастных группах [1]. Болезни органов дыхания представляют одну из наиболее распространенных патологий в структуре общей и первичной заболеваемости. В структуре первичной заболеваемости взрослого населения болезни органов дыхания занимают первое ранговое место. Повышение заболеваемости, наблюдаемое в большинстве стран мира, обусловленное различными факторами риска и увеличением продолжительности жизни, повышает актуальность изучения динамики и структуры БОД в целях оптимизации форм и методов медицинской помощи.

На основании зарегистрированных случаев заболеваний органов дыхания и среднегодовой численности населения были рассчитаны показатели первичной заболеваемости болезнями органов дыхания и построен линейный график динамики заболеваемости взрослого населения Крупского района за период 2014–2020 гг. и определены тенденции заболеваемости.

На рисунке 1 представлена динамика первичной заболеваемости БОД взрослого населения Крупского района за изученный период времени (2014–2020 гг.). При анализе многолетней динамики (2014–2020 гг.) первичной заболеваемости взрослого населения Крупского района болезнями органов дыхания отмечается умеренное снижение заболеваемости ($R^2=0,516$).

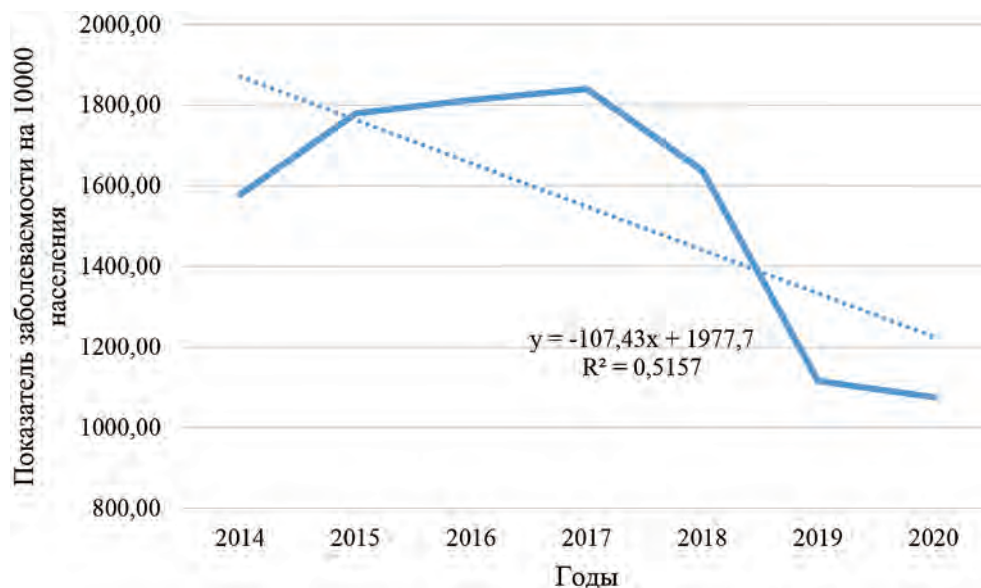


Рисунок 1 – Динамика показателей заболеваемости населения Крупского района болезнями органов дыхания за период 2014–2020 гг.

За период исследования среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составил 1547,99 случаев заболеваний на 10000 населения. Ежегодные показатели тенденции (A_1) – -66,79 на 10000 населения.

В течение рассмотренного временного интервала интенсивные показатели заболеваемости БОД населения уменьшились: с 1577,44 на 10 000 человек до 1075,75 на 10 000 человек, т.е. в 1,5 раза.

При оценке достоверности различий показателей заболеваемости населения Минской области в целом и Крупского района выявлены статистически значимые различия данных показателей ($p>0,05$) на протяжении всего периода изучения (рис. 2).

Среднегодовой показатель первичной заболеваемости населения Крупского района составил $1626,7 \pm 270,7$ случаев на 10 000 населения, а показатель заболеваемости населения Минской области составил $1967,7 \pm 106,8$ случаев на 10 000 населения, таким образом, среднегодовая заболеваемость за изученный период в Крупском районе ниже, чем в Минской области.

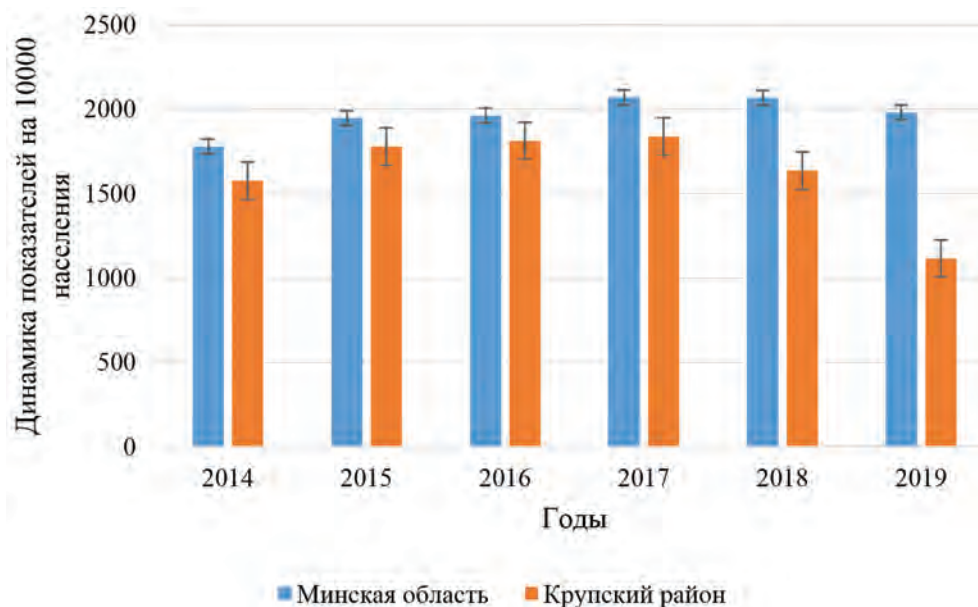


Рисунок 2 – Динамика показателей первичной заболеваемости населения Минской области и Крупского района болезнями органов дыхания за период 2014–2019 гг.

На основании отчетных данных была рассчитана структура первичной заболеваемости взрослого населения болезнями органов дыхания. Основной вклад в структуру первичной заболеваемости болезнями органов дыхания по нозологическим формам взрослого населения в 2020 г. внесли острые респираторные инфекции дыхательных путей (78.03%). Второе место занимают пневмонии (7,37%), третье место – хронический ринит, назофарингит, фарингит, синусит (1,42%), четвертое – астма, астматический статус (0,49%) и пятое место – вазомоторный и аллергический ринит (0,36%) (рис. 3).



Рисунок 3 – Структура первичной заболеваемости взрослого населения Крупского района болезнями органов дыхания в 2020 году, %

Для нозологий, занявшим первые ранговые места были рассчитаны показатели первичной заболеваемости за 2014–2020 гг.

При анализе многолетней динамики (2014–2020 гг.) заболеваемости взрослого населения Крупского района острыми респираторными инфекциями верхних дыхательных путей сначала выявляется выраженное повышение ($R^2=0,887$), а затем выраженное снижение заболеваемости ($R^2=0,906$). В целом, невозможно определить стабильную тенденцию к повышению или снижению заболеваемости. За период исследования среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составил 1225,95 случаев заболеваний на 10000 населения. Среднегодовой темп убыли составил -1,21 %.

В 2014–2020 гг. заболеваемость населения Крупского района пневмонией характеризуется выраженным ростом ($R^2=0,924$). Среднегодовой темп прироста заболеваемости пневмонией - 23,06 %. За период исследования среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составил 50,64 случаев заболеваний на 10000 населения.

В динамике показателя заболеваемости взрослого населения Крупского района хроническим ринитом, назофарингитом, фарингитом, синуситом регистрируется повышение заболеваемости. Коэффициент детерминированности R^2 составил 0,56. Среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составил 13,51 случая заболеваний на 10000 населения. Среднегодовой темп прироста заболеваемости хронический ринитом, назофарингитом, фарингитом, синуситом составил 41,52 %.

За анализируемый период (2014–2020 гг.) заболеваемости взрослого населения Крупского района вазомоторным и аллергический ринитом выявляется умеренное снижение заболеваемости ($R^2=0,52$). В течение рассмотренного временного интервала интенсивные показатели заболеваемости вазомоторным и аллергический ринитом населения уменьшились: с 11,64 на 10 000 человек до 3,92 на 10 000 человек. За период исследования среднегодовой показатель заболеваемости (A_0) составил 9,43 случая заболеваний на 10000 населения. Ежегодный показатель тенденции $A_1=0,73$.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Основной вклад в структуру первичной заболеваемости болезнями органов дыхания по нозологическим формам взрослого населения в 2020 г. внесли острые респираторные инфекции дыхательных путей, пневмонии, хронический ринит, назофарингит, фарингит, синусит, астма и астматический статус, вазомоторный и аллергический ринит.

2. Отмечается снижение первичной заболеваемости болезнями органов дыхания взрослого населения Крупского района.

3. Для острых респираторных вирусных инфекций, вазомоторного и аллергического ринитов характерно снижение первичной заболеваемости, а для пневмоний, хронических ринитов, назофарингитов, фарингитов и синуситов – увеличение показателей.

Болезни дыхательной системы в настоящее время действительно являются актуальной проблемой. Они составляют одну из наиболее распространенных причин заболеваемости и смертности среди людей всех возрастов во всем мире. Необходимо использовать профилактические меры и заранее предупреждать болезнь во избежание заболевания. Для снижения уровня заболеваемости целесообразно отслеживать динамику, информировать население о факторах риска и улучшать экологическую ситуацию в стране. Наблюдаемая динамика заболеваемости и распространенности болезней органов дыхания требует дальнейшего усиления работы по их активному выявлению и профилактической работы по более полному обследованию населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здоровоохранение в России 2017 // Demoscope. ru. – № 755-756, 1-28 января 2018. – Режим доступа: <http://www.demoscope.ru/weekly/2018/0755/biblio03.php> (дата обращения: 09.09.2018).

АРТЕРИАЛЬНАЯ ГИПЕРТЕНЗИЯ НА ФОНЕ ПЕРЕНЕСЕННОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ ARTERIAL HYPERTENSION ON THE BACKGROUND OF CORONAVIRUS INFECTION

Т. Пулюшина^{1,2}, А. Бакунович^{1,2}

T. Pilyushina^{1,2}, A. Bakunovich^{1,2}

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
tatsiana.piliushyna@yandex.ru*

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus
tatsiana.piliushyna@yandex.ru*

Во время пандемии коронавирусной инфекции особое внимание необходимо уделять пациентам с артериальной гипертензией, поскольку установлено, что COVID-19 способствует обострению течения данного заболевания даже на фоне проводимой антигипертензивной терапии, а также повышению артериального давления у лиц, ранее не предъявлявших жалоб на здоровье.

During the coronavirus pandemic, special attention should be paid to patients with arterial hypertension, since it has been established that COVID-19 exacerbates the course of this disease even against the background of ongoing antihypertensive therapy, as well as an increase in blood pressure in people who have not previously complained of health.

Ключевые слова: артериальная гипертензия, коронавирусная инфекция, антигипертензивная терапия, ренин-ангиотензин-альдостероновая система.

Keywords: arterial hypertension, coronavirus infection, antihypertensive therapy, renin-angiotensin-aldosterone system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-64-67>

Одно из первых мест по смертности от сердечно-сосудистых заболеваний занимает артериальная гипертензия, распространенность которой в мире составляет более 1,4 млрд человек и которая уносит более чем 28 000 жизней ежедневно. Артериальная гипертензия является одним из ведущих факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (инфаркта миокарда, острого нарушения мозгового кровообращения, ишемической болезни сердца, хронической сердечной недостаточности), почечных заболеваний.

В настоящее время было выявлено, что перенесенная коронавирусная инфекция способствует развитию артериальной гипертензии, либо усугубляет ее течение.

Коронавирус SARS-CoV-2, вызвавший пандемию COVID-19, представляет собой одноцепочечный РНК-содержащий вирус, который является седьмым членом семейства коронавирусов и к которому еще не сформирован приобретенный иммунитет. Согласно имеющимся данным, наличие сердечно-сосудистых заболеваний, не ассоциировано с более высоким риском заражения SARS-CoV-2, однако ассоциировано с более высоким риском осложнений и летальности при присоединении данной инфекции у пациентов с данной патологией. В условиях возникшей пандемии COVID-19 необходимо выделять пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями в группу высокого риска по неблагоприятному течению и исходу новой коронавирусной инфекции.

Одним из ключевых патогенетических звеньев, связывающих коронавирусную инфекцию с сердечно-сосудистыми заболеваниями, вероятно, является ренин-ангиотензин-альдостероновая система (РААС)[1]. Известно, что активация РААС – один из ведущих патогенетических механизмов формирования сердечно-сосудистых заболеваний, в частности артериальной гипертензии. Каскад патологических процессов реализуется через основные компоненты этой системы (ренин, проренин, ангиотензин II, альдостерон), которые циркулируют как в плазме крови (циркулирующая РААС), так и синтезируются непосредственно в органах и тканях (сердце, почки, лёгкие, глаза, жировая ткань, поджелудочная железа), определяя поражение органов-мишеней гиперактивностью локальных (тканевых) РААС. Синтез ангиотензина II – основного гормона РААС – происходит следующим образом. Ренин синтезируется в юкстагломерулярном аппарате почек из своего предшественника проренина и запускает преобразование ангиотензиногена в неактивный ангиотензин I. Далее ангиотензинпревращающий фермент преобразовывает ангиотензин I в активный ангиотензин II, который оказывает свое воздействие через связь с двумя подтипами рецепторов: ангиотензин I и ангиотензин 2. Ангиотензин II связывается преимущественно с ангиотензин 1-рецепторами, локализованными на эндотелиальных и гладкомышечных клетках, что приводит к вазоконстрикторному, пролиферативному, провоспалительному эффектам, и в целом, – к развитию склеротических изменений тканей и сосудов, формированию дисфункции эндотелия и сосудистого ремоделирования. Именно через активацию ангиотензин 1-рецепторов ангиотензин II стимулирует секрецию альдостерона надпочечниками. Существует 2-й тип ангиотензинпревращающего фермента – ангиотензинпревращающий фермент-2. Экзопептидаза ангиотензинпревращающего фермента-2, несмотря на большое сходство по аминокислотному составу с ангиотензинпревращающим ферментом, оказывает кардинально противоположные функциональные эффекты – антипролиферативные, противовоспалительные и способствует вазодилатации. Это происходит за счет того, что ангиотензинпревращающий фермент-2, воздействуя на ангиотензин II, расщепляет его до ангиотензина 1–7, а ангиотензин I – до неактивного ангиотензина 1–9, который посредством ангиотензинпревращающего фермента метаболизируется в ангиотензин 1–7[1]. В конечном итоге ангиотензин 1–7 связывается, как и ангиотензин II, со специфическими рецепторами клетки (MAS-рецепторы) и оказывает вазодилатирующие и антипролиферативные эффекты. Таким образом, MAS-рецептор является функциональным антагонистом ангиотензин 1-рецептора, а ангиотензин 1–7 – антагонистом ангиотензина II и обладает протективными эффектами для сердечно-сосудистой системы. Но для его образования необходима достаточная концентрация ангиотензинпревращающего фермента-2.

Существует две формы ангиотензинпревращающего фермента-2 – мембраносвязанная и растворимая [2]. Мембраносвязанная форма ангиотензинпревращающего фермента-2 является функционально активной и включает N-концевой эктодомен, трансмембранный домен и цитоплазматический домен. Растворимая форма ангиотензинпревращающего фермента-2 образуется путем дезаминирования внеклеточной части молекулы ангиотензинпревращающего фермента-2. Процесс дезаминирования происходит при участии протеазы ADAM17, которая представляет собой трансмембранный белок. Наличие двух форм ангиотензинпревращающего-2 играет важную роль в проникновении вируса SARS-CoV-2 в клетки-мишени.

Роль ренин-ангиотензин-альдостероновой системы при COVID-19 и артериальной гипертензии:

- вирус SARS-CoV-2 связывается с рецепторами к ангиотензинпревращающему ферменту-2 на поверхности клеток-мишеней посредством шиповидного S-белка (spike protein), который по структуре имитирует ангиотензинпревращающий фермент-2;

- вирус и трансмембранный домен ангиотензинпревращающего фермента-2 проникают внутрь клетки путем эндоцитоза;

– вирус SARS-CoV-2 вызывает дисбаланс в системе ангиотензинпревращающего фермента-2, сопровождающийся снижением уровня ангиотензина 1–7 на фоне роста количества ангиотензина II и активации пути ангиотензинпревращающий фермент – ангиотензин II–ангиотензин I – рецептор;

– первоначальное острое повреждение легких, миокарда, сосудов и других органов коронавирусом SARS-CoV-2 может усиливаться.

Вирусные заболевания протекают с различными симптомами, в том числе для них характерны изменения в сердечно-сосудистой системе, а именно дестабилизация уровня артериального давления. Данные явления могут наблюдаться как у здоровых лиц, так и у пациентов с имеющейся артериальной гипертензией. Такие пациенты наиболее подвержены изменениям профиля артериального давления в период острых респираторных заболеваний. Реакция сердечно-сосудистой системы, как правило, наиболее выражена на фоне лихорадочных состояний. Колебания артериального давления на фоне повышения температуры тела могут быть как в сторону увеличения артериального давления, так и его значительного снижения до уровня, к которому пациент не адаптирован. На пике лихорадки повышение артериального давления является следствием спазма периферических сосудов, а в период критического падения температуры за счет вазодилатации, повышенного диуреза артериальное давление снижается и может привести к возникновению гипотонии вплоть до коллапса. Выраженные неконтролируемые колебания артериального давления ассоциируются с высоким риском развития сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с артериальной гипертензией, в первую очередь инсульта и острого коронарного синдрома. В настоящее время известно, что течение COVID-19 может сопровождаться гипертермией от субфебрильных до гиперпиретических цифр. Поэтому очень важен контроль артериального давления у пациентов с COVID-19 не только в острую фазу болезни, но и после нормализации температур. Один из патогенетических механизмов ухудшения течения артериальной гипертензии при COVID-19 может быть обусловлен вовлеченностью центральной нервной системы. Значительный уровень экспрессии ангиотензинпревращающего фермента-2 выявлен не только в легких, но и в некоторых отделах мозга. Высокое содержание вирусных частиц SARS-CoV-2 выявили в стволе мозга и отходящих от него черепных нервах [3].

В результате вирусного поражения отмечался апоптоз этих клеток, что приводило к нарушению функционирования центров головного мозга, ответственных за регуляцию артериального давления и дыхания.

Кроме того, снижение уровня ангиотензинпревращающего фермента-2 в стволе мозга может вызывать нарушение тонуса симпатической нервной системы и приводить к дестабилизации артериального давления у пациентов с артериальной гипертензией.

По данным зарубежных эпидемиологических исследований выявляется высокая доля лиц с артериальной гипертензией, которые не осведомлены о своем состоянии и не получают соответствующего лечения. Можно предположить, что заболевание таких пациентов COVID-19 сопряжено с более высоким риском развития сердечно-сосудистых осложнений на фоне нелеченой артериальной гипертензией.

В ходе проводимых исследований, было осмотрено 160 пациентов, которые вызывали скорую медицинскую помощь в городе Минске с поводом: высокое артериальное давление, сердцебиение, высокая температура, выставленная коронавирусная инфекция по ПЦР-тесту, затрудненное дыхание, головокружение, головная боль, в возрастной группе от 20 лет и старше, за период январь-февраль 2022 года. Из них 136 пациентов в возрасте старше 60 лет и 24 – в возрасте от 20 до 59 лет. Из 98 переболевших, 71 пациент отметили повышение артериального давления (рис. 1).

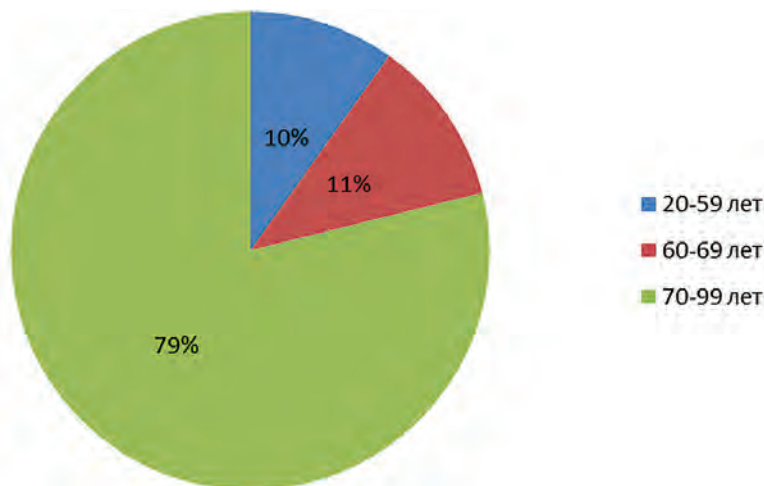


Рисунок 1 – Процентное соотношение случаев артериальной гипертензии у пациентов, перенесших коронавирусную инфекцию по возрастам

В старшей возрастной группе 80 пациентов, что составило 59%, переболели коронавирусной инфекцией. Большую часть переболевших составили женщины старше 70 лет (53 человека). Мужчин в данной группе насчиталось 7 человек (старше 70 лет), из которых только 3 имели повышенные цифры артериального давления. Все женщины этого возраста и трое мужчин имели в анамнезе АГ 3 степени, повышение систолического

артериального давления (АД) выше 180 мм рт. ст., диастолического выше 100 мм рт. ст. при адаптированном давлении 140/80 мм рт.ст., получали антигипертензивную терапию из двух и более препаратов. В основном ингибиторы АПФ (периндоприл, рамилонг, эналаприл) и антагонисты кальция (амлодипин) и имели стойкую ремиссию (получалось достигать уровня АД 130/80 и 140/80 мм рт. ст.).

После перенесенной коронавирусной инфекции пациенты стали отмечать повышение артериального давления, выше значений 210/110 мм рт. ст. даже на фоне проводимой постоянной терапии. Часто случались гипертонические кризы II порядка, которые сопровождались головокружением, головной болью, отеками, слабостью, ухудшением настроения и общего самочувствия. Кризы купировались только введением парентеральных препаратов, так как пероральные формы для быстрого снижения АД (каптоприл, моксонидин, нифедипин) не оказывали должного эффекта.

В последующем требовалось добавление в схему лечения еще одного препарата или увеличения дозы принимаемых препаратов до достижения целевых значений артериального давления. Некоторым пришлось заменить ингибиторы АПФ на блокаторы ангиотензина II (лозартан, вальсакор) в максимальной дозировке, а также добавлялся моксонидин для постоянного приема.

У троих пациентов (4% осматриваемых), на пике повышения АД, случилось острое нарушение мозгового кровообращения. А у 15 женщин в данной возрастной категории, имелся сопутствующий диагноз сахарный диабет 2 типа и ожирение 2-3 степени (метаболический синдром), что усугубляло течение АГ и требовало назначения 3 и более антигипертензивных препаратов.

Женщины в возрасте от 60 до 69 лет, 20 человек, имели артериальную гипертензию 2 степени, давление повышалось не выше 180/90 мм рт. ст. В данной группе 8 человек отметили учащение гипертонических кризов, на фоне принимаемых антигипертензивных препаратов, купируемых приемом каптоприла либо моксонидина, либо введением парентеральных препаратов (фуросемид, клофелин, урапидил). Схема лечения артериальной гипертензии не менялась. Часто повышение артериального давления не сопровождалось клиническими симптомами и обнаруживалось во время суточного мониторинга. В свою очередь, такое повышение давления опасно для пациента тем, что человек не чувствует повышения артериального давления и своевременно не принимает антигипертензивные препараты, тем самым повышается риск развития таких осложнений, как острое нарушение мозгового кровообращения, инфаркта миокарда, гипертонической энцефалопатии, нарушения ритма сердца. Сопутствующие заболевания в данной категории не выявлены.

В группе от 20 до 59 лет, 18 человек (12 мужчин и 6 женщин) переболели COVID-19, только один человек в анамнезе имел артериальную гипертензию 2 степени и получал монотерапию лизиноприлом, имел стойкую ремиссию по данному заболеванию. В данной группе повышение артериального давления чаще наблюдалось у мужчин в возрасте от 20 до 40 лет, 10 человек. Давление повышалось выше значений 160/80 мм рт.ст., при адаптированном давлении не выше 120/80 мм рт.ст. Ранее данные пациенты не предъявляли жалоб на здоровье, лекарственные препараты не принимали. Повышение давления проявлялось возникновением гипертонических кризов I порядка, характеризующихся головной болью, ознобом, чувством страха, сердцебиением, часто рвотой. Кризы купировались приемом бета-блокаторов (анаприлина). У женщин в возрасте до 30 лет повышение артериального давления не отмечалось. Женщины в возрасте от 40 до 49 лет отмечали повышение артериального давления выше 150/80 мм рт.ст., которое проявлялось головной болью, преимущественно в области затылка. Давление снижалось на фоне приема каптоприла, редко требовалось парентеральное введение препаратов. Из переболевших, семь человек (5 мужчин и 2 женщины), что составило 39%, после перенесенной коронавирусной инфекции, отметили стойкое ежедневное повышение артериального давления от 150/80 до 170/90 мм рт.ст., что в дальнейшем потребовало назначения антигипертензивной терапии из одного препарата (ингибитора ангиотензинпревращающего фермента или бета-блокатора, реже блокатора ангиотензина II). В данной возрастной группе сопутствующих заболеваний не имелось.

Таким образом, можно заключить, что коронавирусная инфекция усугубляет течение артериальной гипертензии, особенно у женщин старше 70 лет, а также приводит к возникновению первичной АГ у лиц молодого возраста, в частности у мужчин, в дальнейшем нуждающихся в применении антигипертензивной терапии.

Из 98 пациентов, переболевших коронавирусной инфекцией, 71 человек, что составило 72% из числа осматриваемых, имели повышенные цифры артериального давления, 7% – впервые столкнулись с данной проблемой.

В связи с этим, пациенты с коронавирусной инфекцией и переболевшие COVID-19 требуют более тщательного контроля за цифрами артериального давления, а именно, постоянного суточного мониторинга, особенно лица, имеющие в анамнезе АГ, лица пожилого возраста и с сопутствующими заболеваниями, такими, как сахарный диабет и метаболический синдром. В случае необходимости, лица из группы риска требуют своевременного назначения антигипертензивной терапии для исключения сердечно-сосудистых осложнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Battle, D.* Soluble angiotensin converting enzyme 2: a potential approach for coronavirus infection therapy? / D. Battle, J. Wysocki, K. Satchell // Clin Sci. – 2020. – Vol. 134, № 5. – P. 543–5.
2. *Kreutz, R.* Hypertension, the renin-angiotensin system, and the risk of lower respiratory tract infections and lung injury: implications for COVID-19 / R. Kreutz // Cardiovascular Research. – 2020. – Vol. 10, P. – 1093
3. *Singh, A. K.* Comorbidities in COVID-19: Outcomes in hypertensive cohort and controversies with renin angiotensin system blockers / A. K. Singh, R. Gupta, A. Misra // Diabetology & Metabolic Syndrome. – 2020. Vol. 14, № 4. – P. 283–287.

**ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА $\gamma\delta$ T-ЛИМФОЦИТОВ
У ПАЦИЕНТОВ С ВОСПАЛИТЕЛЬНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ КИШЕЧНИКА**
 **$\gamma\delta$ T-LYMPHOCYTES PHENOTYPE
IN PATIENTS WITH INFLAMMATORY BOWEL DISEASES**

**Д. Цеханович^{1,2}, А. Старостин³, О. Дыбов³, Д. Нижегородова^{1,2,3}
D. Tsekhanovich^{1,2}, A. Starastsin³, A. Dybau³, D. Nizheharodava^{1,2,3}**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

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

³Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

³Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Republic of Belarus

Роль $\gamma\delta$ T-клеток в воспалительных заболеваниях кишечника до сих пор полностью не изучена: с одной стороны, считается, что они участвуют в дисрегуляции иммунного ответа на комменсальные бактерии желудочно-кишечного тракта у генетически восприимчивых индивидуумов, а, с другой стороны, $\gamma\delta$ T-клетки могут инициировать репарацию повреждения эпителия кишечника и проявлять иммунорегуляторное действие. В данном исследовании охарактеризован субпопуляционный состав Т-лимфоцитов ($\alpha\beta$ T-клетки, $\gamma\delta$ T-клетки) и экспрессия функциональных молекул (TLR4+, CD314+, CD8+, CD45RO+) на циркулирующих $\gamma\delta$ T-клетках у пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника. Показано повышение $\gamma\delta$ T-клеток, преимущественно экспрессирующих цитотоксический профиль, наряду с истощением популяции $\gamma\delta$ T-клеток памяти в периферической крови у пациентов с болезнью Крона и язвенным колитом, что может являться отражением нарушения механизмов толерантности и результатом хронической стимуляции к аутоантигенам.

$\gamma\delta$ T-cells role in inflammatory bowel disease is still not fully investigated: on the one hand, they are thought to be involved in dysregulation of the immune response to gastrointestinal commensal bacteria in genetically susceptible individuals and, on the other hand, $\gamma\delta$ T-cells may initiate repair of damaged intestinal epithelium and exhibit immunoregulatory effects. The composition of T-lymphocytes subsets ($\alpha\beta$ T-cells, $\gamma\delta$ T-cells) and the expression of functional molecules (TLR4+, CD314+, CD8+, CD45RO+) on circulating $\gamma\delta$ T-cells in patients with inflammatory bowel disease were characterized in this study. An increase of $\gamma\delta$ T-cells numbers predominantly expressing a cytotoxic phenotype along with a depletion of $\gamma\delta$ T-cells memory population in peripheral blood of patients with Crohn's disease and ulcerative colitis has been shown, what may reflect impaired tolerance mechanisms and results from chronic stimulation to autoantigens.

Ключевые слова: $\gamma\delta$ T-лимфоциты, аутоиммунное воспаление, болезнь Крона, язвенный колит, проточная цитометрия, фенотип.

Keywords: $\gamma\delta$ T-lymphocytes, autoimmune inflammation, Crohn's disease, ulcerative colitis, flow cytometry, phenotype.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-68-71>

Введение. Воспалительные заболевания кишечника (ВЗК) – это группа аутоиммунных заболеваний, которые характеризуются прогрессирующим хроническим воспалительно-деструктивным поражением желудочно-кишечного тракта. Выделяют два распространенных воспалительных заболеваний кишечника: язвенный колит (ЯК) – хроническое воспалительное заболевание слизистой оболочки толстого кишечника, возникающее в результате дисбаланса иммунной системы и сопровождающееся продукцией антител к собственному эпителию слизистой оболочки, и болезнь Крона (БК) – хроническое неспецифическое аутоиммунное гранулематозное воспаление желудочно-кишечного тракта, локализирующее почти во всех его отделах и характеризующееся большой выработкой цитотоксических цитокинов: интерферон гамма (IFN- γ), фактор некроза опухолей альфа (TNF- α) и интерлейкин 12 (IL-12) иммунокомпетентными клетками, в частности, субпопуляциями Т-клеток.

За последнее десятилетие механизмы, инициирующие и поддерживающие воспаление при ВЗК, остаются не до конца изученными, а методы лечения в большинстве случаев – симптоматические. Необходимость в улучшении диагностики и поиске новых патогенетических мишеней обусловлена растущей заболеваемостью ВЗК в мире за последние 30 лет, в том числе и Республике Беларусь, а также экономическими затратами, связанными с их терапией и улучшением качества жизни пациентов. Современная концепция этиологии ВЗК рассматривает роль инфекции (микобактерии, вирусы), токсинов, диеты в развитии аутоиммунного воспаления. Данные многих

авторов свидетельствуют в пользу иммунорегуляторной теории этиологии ВЗК, и генетической детерминированности иммунных расстройств [2]. Известно, что основную роль в инициации и усилении воспаления играет активация Т-клеток, среди которых особый интерес представляет популяция $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов, циркулирующих в крови и локализирующихся также в периферических органах, в основном в эпителии, где они могут составлять до 40% слизистой оболочки кишечника. Исключительная пластичность и иммунорегуляторные свойства делают их ключевыми клетками на первой линии защиты от инфекций и при заживлении ран.

$\gamma\delta$ Т-лимфоциты имеют цитотоксический потенциал, реагируют на IL-2, продуцируя IFN- γ и TNF- α , что предполагает их роль в уничтожении инфицированных клеток, опухолевых клеток или стресс-модифицированных в результате воспалительной реакции. При этом для $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов характерна как прямая цитотоксичность, при которой они вступают в контакт с клеткой-мишенью, так и опосредованная – за счет активации других иммунных клеток. $\gamma\delta$ Т-клетки способны, подобно антиген-презентирующим клеткам, распознавать аутоантигены, что подчеркивает их исключительную роль в механизме повреждения тканей при БК. Наряду с этим повышенная способность $\gamma\delta$ Т-клеток к распознаванию специфических антинейтрофильных цитоплазматических антител при ЯК способствует дополнительной стимуляции IL-5 Т-хелперами 2 типа, что обуславливает избыточную регенерацию эпителия.

Непрерывная стимуляция на аутоантигены ведет к хроническому истощению клеток памяти. В результате идет процесс нарушения толерантности к собственным антигенам, что подтверждается избыточной экспрессией $\gamma\delta$ Т-лимфоцитами TLR4+ рецептора, способного связывать антигены грамотрицательных бактерий или эндогенные молекулы, образующиеся в результате повреждения тканей. Однако, несмотря на многочисленные исследования $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов у экспериментальных животных и человека, их клиническое значение до сих пор полностью не установлено, что и определяет актуальность данного исследования.

Материалы и методы исследования. Периферическая венозная кровь получена у пациентов с БК (n = 25) и ЯК (n=10), а также здоровых доноров (n=20), характеристика которых представлена в таблице 1. Диагнозы подтверждены морфологическим исследованием биопсийного материала.

Таблица 1 – Характеристика исследуемых групп

Группы	Количество, n	Пол, М/Ж	Возраст, года
Пациенты с ЯК	10	5/5	51,0 [22,0 ÷ 47,5]
Пациенты с БК	25	21/4	30,0 [21,0 ÷ 47,0]
Доноры	20	10/9	40,0 [36,0÷45,0]

Имунофенотипирование выполняли методом проточной цитометрии. Выявление и анализ кластеров дифференцировки (CD-антигенов) производился с помощью конъюгированных с флуорохромами моноклональных антител путем детекции флуоресцентного сигнала проточным цитофлуориметром Cytoflex (Beckman Coulter, США). Для имунофенотипирования в пробирку добавляли 2×10^5 клеток и 10 мкл моноклональных антител: CD3-FITC, CD314-PE, CD45RO-ECD, CD8-PC5, TLR4-APC, TCR $\gamma\delta$ -PC7 (Beckman Coulter, США) и инкубировали в течении 15 минут в темном месте при температуре 18–25 °С. Для последующего лизирования эритроцитов использовали раствор VersaLyse (Beckman Coulter, США). Регистрацию результатов выполняли на проточном цитометре на 1000 $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов.

Анализ данных проводили в программе CytExpert (Beckman Coulter, США). Для отделения дуплетов (клеточных конгломератов) использовали двухпараметрическую гистограмму FS-Area против FS-Height (рис. 1А). На точечном графике зависимости CD45-KRO от SSC, выделили гейт лимфоцитов (рис. 1В), среди которого построили гистограмму CD3-AA750 и выделили область CD3+Т-клеток (рис. 1С), а затем создали точечный график $\alpha\beta$ TCR-PE и $\gamma\delta$ TCR-FITC, с выделением CD3+Т-клеточных субпопуляций: $\alpha\beta$ Т-клетки и $\gamma\delta$ Т-клетки (рис. 1D). В последствии экспрессию функциональных молекул (TLR4+, CD314+, CD8+, CD45RO+) оценивали среди гейта $\gamma\delta$ Т-клеток. Результаты представляли в виде медианы и 25-го и 75-го перцентилей. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Statistica 8.0.

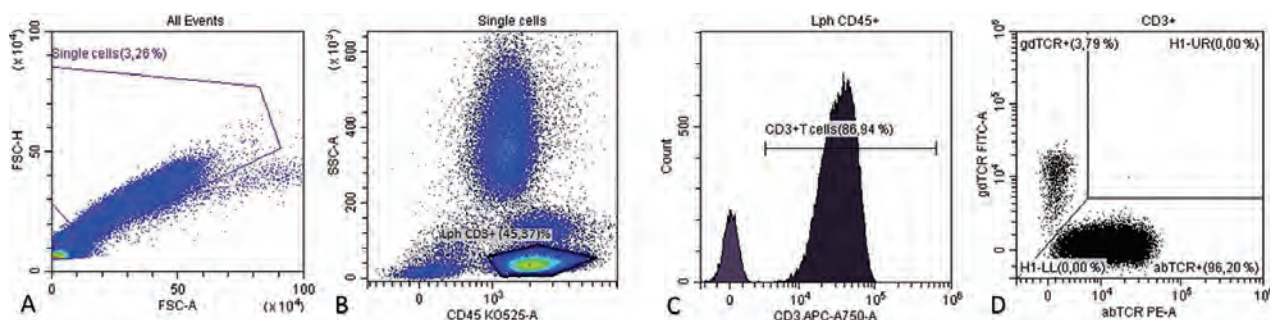


Рисунок 1 – Имунофенотипирование Т-лимфоцитов методом проточной цитометрии:
А – область лейкоцитов, В – гейт лимфоцитов, С – область CD3+Т-клеток, D – $\alpha\beta$ Т-клетки и $\gamma\delta$ Т-клетки

Результаты и обсуждение. Для определения количественного содержания субпопуляций Т-лимфоцитов в периферической крови у пациентов с ЯК и БК, а также у здоровых доноров, исследованы следующие субпопуляции лимфоцитов: CD3+Т-клетки, $\alpha\beta$ Т-клетки, $\gamma\delta$ Т-клетки. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика субпопуляций Т-лимфоцитов в исследуемых группах

Т-лимфоциты	Язвенный колит	Болезнь Крона	Доноры	p
	1	2	3	
CD3+Т-клетки, %	76,81 [62,0÷82,8]	75,38 [64,4÷82,7]	70,58 [67,2÷76,8]	$p_{1-3}=0,4$ $p_{2-3}=0,6$
$\alpha\beta$ Т-клетки, %	95,0 [88,9÷96,8]	94,7 [88,1÷97,5]	97,4 [94,4÷98,0]	$p_{1-3}=0,4$ $p_{2-3}=0,9$
$\gamma\delta$ Т-клетки, %	6,54 [3,47÷11,7]	5,23 [2,5÷11,9]	2,86 [2,0÷5,6]	$p_{1-3}=0,05$ $p_{2-3}=0,02$

Показано, что относительное количество Т-лимфоцитов достоверно не отличалось у пациентов с ВЗК по сравнению с контрольной группой. Исследование субпопуляций Т-клеток на основе типа экспрессии Т-клеточного рецептора ($\alpha\beta$ Т-клетки или $\gamma\delta$ Т-клетки) выявило статистически значимое увеличение количества $\gamma\delta$ Т-клеток у пациентов с ЯК и БК по сравнению с контрольной группой (табл. 2), что предполагает вовлечение $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов в иммунопатогенез ВЗК и характеризует нарушение нормальное распределение Т-лимфоцитов. Данные результаты согласуются с литературными данными Kadivar M. и соавт., которые в том числе продемонстрировали, что повышенная концентрация $\gamma\delta$ Т-клеток в слизистой оболочке ведет к воспалительной активации и срыву толерантности к нормальной микрофлоре кишечника и развитию изъязвления стенки кишечника [1]. Другие авторы также описывают количественное изменение $\gamma\delta$ Т-клеток, что обеспечивается провоспалительными цитокинами (IL-1, 6, TNF- α , GM-CSF, IL-17), индуцирующими воспаление.

Поскольку $\gamma\delta$ Т-лимфоциты обладают свойствами клеток врожденного иммунитета, изучена экспрессия паттерн-распознающего рецептора TLR4+ у пациентов с ВЗК. TLR4+ представляет собой ключевой рецептор, распознающий как инфекционные, так и неинфекционные стимулы, вызывая провоспалительный ответ. Установлено повышение $\gamma\delta$ Т-клеток с TLR4+ в периферической крови пациентов с ЯК (21,01 (10,3÷37,9) %) и пациентов с БК (20,93 (16,4÷31,9) %) по сравнению со здоровыми донорами (9,04 (4,7÷26,6) %, $p<0,01$), что отражает иммунологическую активность врожденного клеточного иммунитета по отношению к внеклеточным антигенам, включая компоненты нормальной кишечной микрофлоры (рис. 2). Опосредованное TLR4 воспаление, запускаемое экзогенными или эндогенными лигандами, играет ключевую роль в качестве триггера воспалительной реакции.

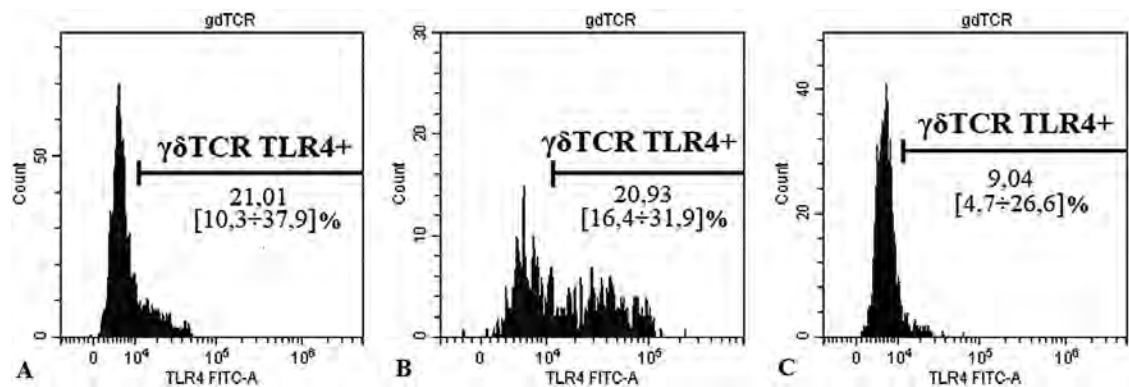


Рисунок 2 – Экспрессия $\gamma\delta$ Т-клеток с TLR4+ у пациентов с ЯК, БК и у здоровых доноров: А – ЯК, В – БК, С – Доноры

Для оценки цитотоксического функционального статуса $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов определяли экспрессию корцепторной молекулы CD8+ и киллерного рецептора NKG2D (CD314+). Количество CD314+ $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов повышалось в обеих группах (92,8 (89,8÷94,4) % и 91,4 (88,7÷93,4) % у пациентов с ЯК и БК, соответственно) относительно контрольной группы (84,9 (73,8÷90,2) %, $p<0,01$), тогда как экспрессия CD8+ (рис. 3) увеличивалась только у пациентов с ЯК (43,83 (32,8÷48,2) %) и статистически значимо не различалась у пациентов с БК (31,58 (18,5÷48,3) %) по сравнению с контролем (23,44 (18,9÷37,5) %, $p<0,05$). После активации антигеном цитотоксические клетки связываются с антигенами на поверхности клеток и разрушают их с помощью перфорин-гранзимового эффекторного механизма. Повышенная цитотоксичность приводит к нарушению жизнеспособности клетки, но не угнетает иммунный ответ, что отражает усиление иммунного надзора и возможные причины атрофии ворсинок и гиперплазии крипт.

Учитывая, что $\gamma\delta$ Т-клетки могут действовать как клетки адаптивного иммунитета, исследовано количество CD45RO+ $\gamma\delta$ Т-клеток памяти. Показано достоверное снижение процентного содержания клеток CD45RO+ $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов у пациентов с ЯК (21,32 (11,5÷50,0) %) и у пациентов с БК (19,77 (10,6÷55,6) %) по сравнению со здоровыми донорами (28,27 (21,0÷55,8) %, $p<0,01$), что указывает на дальнейшую дифференцировку эффекторных

клеток в терминально дифференцированные эффекторные клетки памяти, которые теряют экспрессию CD45RO+ и начинают реэкспрессировать CD45RA+ (рис. 4). Нарушения иммунологической памяти могут играть важную роль при ВЗК. Изменение фенотипического состава Т-клеток памяти может приводить к нарушению толерантности к собственным антигенам, что подтверждает наличие хронического воспалительного процесса в тканях кишечника, у пациентов с ВЗК.

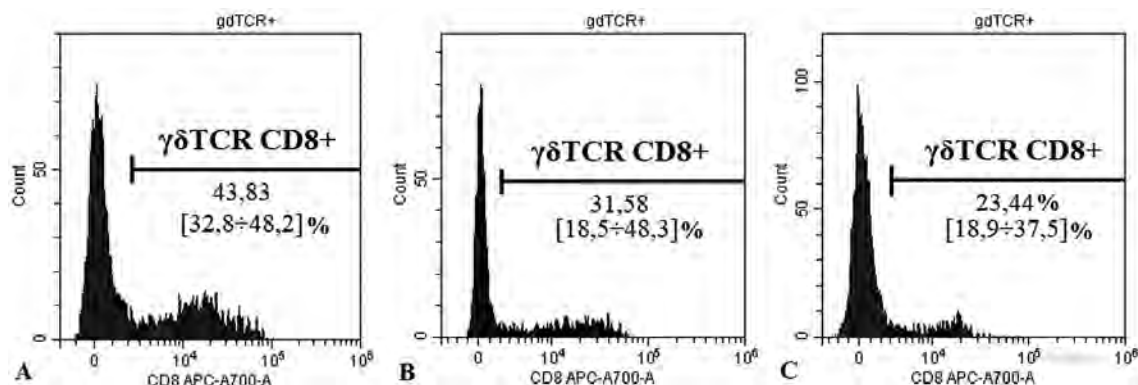


Рисунок 3 – Экспрессия $\gamma\delta$ TCR+CD8+ у пациентов с ЯК, БК и у здоровых доноров: А - ЯК, В - БК, С - Доноры

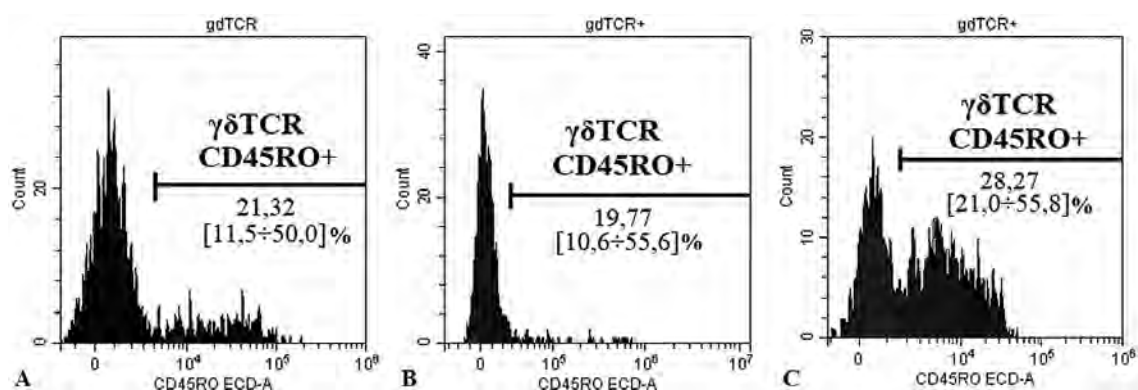


Рисунок 4 – Экспрессия $\gamma\delta$ TCR+CD45RO+ у пациентов с ЯК, БК и у здоровых доноров: А – ЯК, В – БК, С – Доноры

Заключение. Таким образом, в периферической крови пациентов с БК и ЯК установлено стойкое увеличение количества $\gamma\delta$ Т-лимфоцитов с усиленной экспрессией TLR4 и цитотоксическим профилем (CD314+CD8+), а также терминально дифференцированный фенотип эффекторных клеток памяти, что может являться одним из потенциальных механизмов повреждения слизистого барьера и воспаления кишечника, способствующих хроническим и системным реакциям на антигены микробиоты желудочно-кишечного тракта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kadivar, M. CD8 $\alpha\beta$ $\gamma\delta$ T Cells: A Novel T Cell Subset with a Potential Role in Inflammatory Bowel Disease / M. Kadivar; [et al.] // The Journal of Immunology. 2016. № 197. P. 4584–4592.
2. McCarthy, N. Human $\gamma\delta$ T-Cell Control of Mucosal immunity and inflammation / N. McCarthy [et al.] // Frontiers in Immunology. 2018. № 985.

**ОСОБЕННОСТИ КАЧЕСТВА И РЕЖИМА СНА У СТУДЕНТОВ
С ПРИЗНАКАМИ НАРУШЕНИЯ ФУНКЦИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ
PECULIARITIES OF QUALITY AND SLEEP CYCLE
IN STUDENTS WITH SIGNS OF THYROID FUNCTION DISTURBANCES**

Е. Н. Будкова^{1,2}, М. В. Лобанова³, Е. А. Гюнерич^{1,2}

E. N. Budkova^{1,2}, M. V. Lobanova³, E. A. Gunerich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ г. Минск, Республика Беларусь

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

³3-я городская клиническая больница им. Е.В. Клумова г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

³3rd city clinical hospital named after E. V. Klumova Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматриваются результаты проведенного физикального исследования щитовидной железы студентов юношеского возраста и анализ качества и режима сна как вероятного фактора риска возникновения и развития метаболического синдрома.

The article discusses the results of a physical examination of the thyroid gland of adolescent students and an analysis of the quality and sleep regimen as a likely risk factor for the onset and development of the metabolic syndrome.

Ключевые слова: щитовидная железа, метаболический синдром, сон, эндокринные нарушения.

Keywords: thyroid gland, metabolic syndrome, sleep, endocrine disorders.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-72-77>

Состояние здоровья населения, особенно молодого поколения, всегда играет ведущую роль в системе жизненных ценностей любого государства. Сохранение общественного здоровья и снижение заболеваемости - важнейшие социально-экономические задачи, стоящие перед системой здравоохранения, при решении которых используются теоретические и практические основы многих наук: медицины, экологии, демографии, гигиены, эпидемиологии.

Большое медико-социальное и общественное значение принадлежит сохранению и укреплению здоровья в юношеском возрасте, в т.ч. у студенческой молодежи. Основными причинами роста заболеваемости по основным классам болезней, склонности к их хронизации являются особенности условий питания и образа жизни студентов. Согласно статистическим данным, за последние 10 лет общая заболеваемость среди студенческой молодежи в Республике Беларусь увеличилась на 37 % [1]. Сложившаяся ситуация обусловлена действием целого комплекса факторов, которые приводят к истощению адаптационных резервов эндокринной, нервной, иммунной системы растущего организма, формированию функциональных расстройств, а затем и хронической патологии.

Особенности условий питания и жизни студентов зачастую ведут к риску возникновения метаболического синдрома, что требует повышенного внимания и контроля к валеологическому обучению и образованию, организации медицинского обслуживания, проведению различных видов медицинских профилактических и целевых осмотров с целью выявления факторов и групп риска возникновения и обострения заболеваний.

Метаболический синдром (МС) – это комплекс взаимосвязанных и модифицируемых факторов риска развития нарушений углеводного и жирового обмена, механизмов регуляции артериального давления и функций эндотелия, формирующихся на фоне нейроэндокринной дисфункции при сниженной чувствительности тканей к инсулину – инсулинорезистентности (ИР).

Патогенетически проблема МС тесно связана с дисфункцией интегративных неспецифических структур головного мозга – лимбико-ретикулярного комплекса, проявляющейся нейроэндокринно-обменными, эмоциональными, вегетативными, мотивационными и биоритмологическими расстройствами, в том числе нарушением цикла «бодрствование-сон» (Вейн А.М., 2003).

Сон – это особое генетически детерминированное состояние организма теплокровных животных, характеризующееся последовательной и закономерной сменой определенных полиграфических картин в виде циклов, фаз и стадий. Цикл ночного сна взрослого человека составляет 90–100 минут – это период, за время которого спящий последовательно проходит 4 стадии. Функции сна многообразны и зависят от фазы сна. Фаза медленного сна (ФМС или 1-2 стадия сна + 3-4 стадии – глубокий сон или дельта-сон) отвечает за восстановление мозгового

гомеостаза, оптимизацию управления внутренними органами, синтез фосфатергических соединений - «накопителей энергии», белков, нуклеиновых кислот, секрецию гормона роста. В период фазы быстрого сна (ФБС, парадоксальный сон или Rem-сон) происходит психическая адаптация организма - упорядочение информации, ее синтез, суммация и создание будущей программы поведения [2].

Продолжительность сна обычно составляет 6–8 часов в сутки, но возможны изменения в довольно широких границах (4–10 часов). Продолжительность сна у новорожденных, взрослых и пожилых людей составляет 12–16, 6–8 и 4–6 ч в сутки соответственно. Длительность сна менее 5 ч (гипосомния) или нарушение физиологической структуры считаются факторами риска бессонницы.

Сон является неотъемлемой частью здоровья человека. Распространенность нарушений сна по различным оценкам и критериям колеблется от 9% до 41%, что является клинически значимой проблемой, резко снижающей качество жизни [3]. Некачественный или недостаточный сон приводит к обширному спектру изменений всех нервных и нейроэндокринных функций, включающих изменение секреции «стрессорных» гормонов, когнитивные и обменные нарушения, снижение иммунитета, повышение риска онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний [2].

Чередование состояний сна и бодрствования подчиняется хронобиологическим закономерностям. За генерацию циркадианных (околосуточных) ритмов отвечает супрахиазмальное ядро гипоталамуса, исполняя роль «биологических часов». Большинство физиологических и биохимических процессов в организме характеризуются циркадианными ритмами, среди которых наиболее выраженным является цикл «сон-бодрствование». В норме циркадианные ритмы синхронизированы с 24-часовым циклом «день - ночь».

Взаимосвязь сна с эндокринной системой не вызывает сомнений, так как секреция большинства гормонов закономерно изменяется в течение суток и ассоциирована с ритмом «сон-бодрствование» [3]. Секреция тиреотропного гормона (ТТГ) происходит в пульсирующем режиме, частота и амплитуда пульсации увеличиваются в вечернее время с пиком секреции период между 23.00 и 04.00 ч. и снижается до минимальных значений в первой половине дня. При нарушениях сна режим секреции ТТГ сбивается, что приводит к значительным изменениям функции щитовидной железы.

Среди регуляторных систем, обеспечивающих адаптацию организма человека к условиям окружающей среды, эндокринная система имеет ведущее значение, она одной из первых реагирует на изменения условий окружающей среды и играет важную роль в адаптации к неблагоприятным воздействиям [4].

Распространенность заболеваний щитовидной железы в общей европейской популяции составляет 0,2–5,3 % в зависимости от возраста и пола. При этом женщины страдают гипотиреозом в пять – десять раз чаще, чем мужчины [5].

Диффузный зоб развивается до 20-летнего возраста – более чем в 50 % случаев, до 30 лет – еще в 20 % случаев. У лиц женского пола эндокринные заболевания развивается в 2–3 раза чаще, чем у лиц противоположного пола, в большей степени из-за повышенной потребности в гормонах ЩЖ в особые периоды жизни: в процессе полового развития, на фоне беременности, во время лактации. Хронический аутоиммунный тиреоидит встречается как в виде самостоятельного заболевания, так и в рамках аутоиммунных полигландулярных синдромов [3]. В регионах с умеренным и тяжелым йодным дефицитом также встречается гипотиреоз, распространенность которого наиболее высокая в детском и юношеском возрасте.

Клиническими особенностями нарушений функции щитовидной железы является их значимое влияние на медико-социальный статус пациента, что проявляется в нарушениях эмоциональности, психической реактивности, изменениях поведенческих реакций в быту и в рабочей обстановке, нарушением или значительным снижением самооценки, памяти и интеллекта. Перечисленные симптомы неизбежно ведут к изменению и существенному ухудшению качества жизни пациентов не только пожилого нетрудоспособного возраста, но и молодой и средней возрастных групп с высокой социальной и творческой активностью.

В основе патогенеза нарушений функций щитовидной железы лежит снижение протекания обменных процессов, потребления кислорода, интенсивности окислительного фосфорилирования и синтеза аденозинтрифосфата в каждой системе организма с поэтапным развитием целого ряда нарушений, в т.ч. характерных для метаболического синдрома [6].

Наиболее частыми проявлениями являются утомляемость, слабость, сонливость, замедление мышления и речи, ухудшение памяти, двигательная заторможенность, отек лица и рук, подавленный эмоциональный фон, нарушение менструального цикла, бесплодие, увеличение массы тела, сухость кожи, запоры и т.д. Весьма типичны расстройства сна, или инсомния – это количественный и качественный дефицит сна, необходимого для нормальной дневной деятельности, а в МКБ-10 она трактуется, как первично психогенное состояние с эмоционально обусловленным нарушением качества, продолжительности или ритма сна.

В данном исследовании проведен анализ качественных и количественных характеристик сна у студентов и их взаимосвязь с выявленными признаками нарушений функций щитовидной железы. В соответствии с требованиями биомедицинской этики, на участие в исследовании было получено информированное согласие всех обследованных лиц.

Протокол исследования включал: анкетирование, сбор анамнеза, клинический осмотр, пальпацию щитовидной железы. Анкетирование предусматривало заполнение опросника, в котором отмечались характеристики сна. У обследуемых фиксировалось наличие заболеваний ЩЖ в анамнезе, патологии ЩЖ у родственников. В исследовании включены студенты, не принимающие лекарства, влияющие на уровень гормонов щитовидной железы.

В ходе проведенного физикального исследования среди 106 студентов (76,4 % девушек и 23,6 % юношей) в возрасте от 17 до 23 лет были выявлены признаки нарушений функций щитовидной железы. При осмотре,

пальпации ЩЖ выявлено увеличение размеров и изменение структуры пальпируемой ткани железы у 69,8 % исследуемых студентов (74 % девушек, 56 % среди юношей).

В ответах на вопросы о качественных и количественных характеристиках сна студентами были даны следующие результаты.

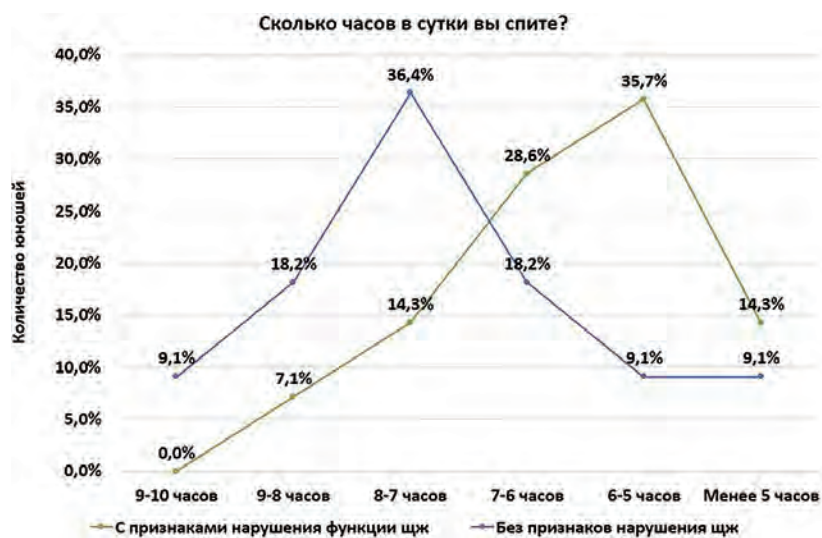


Рисунок 1

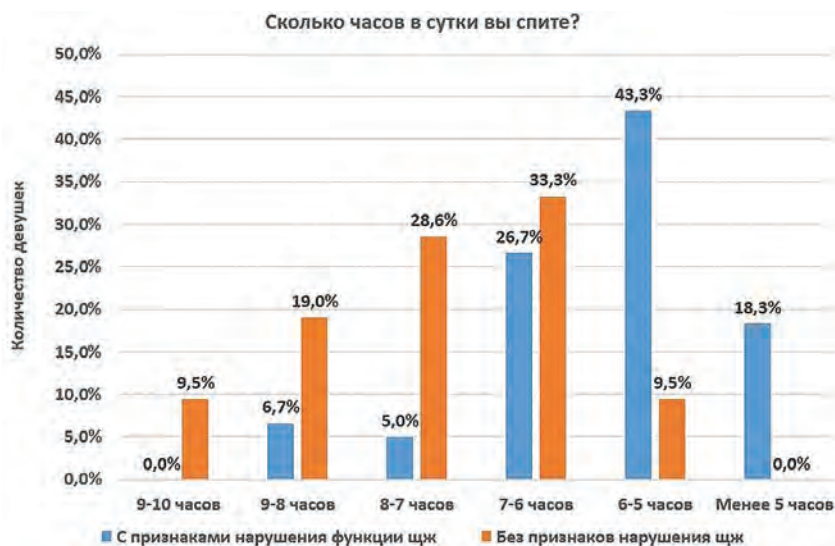


Рисунок 2

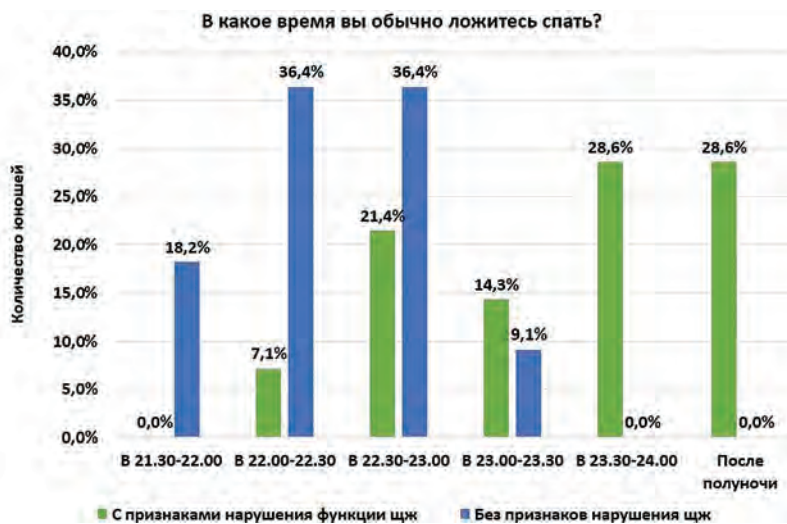


Рисунок 3



Рисунок 4

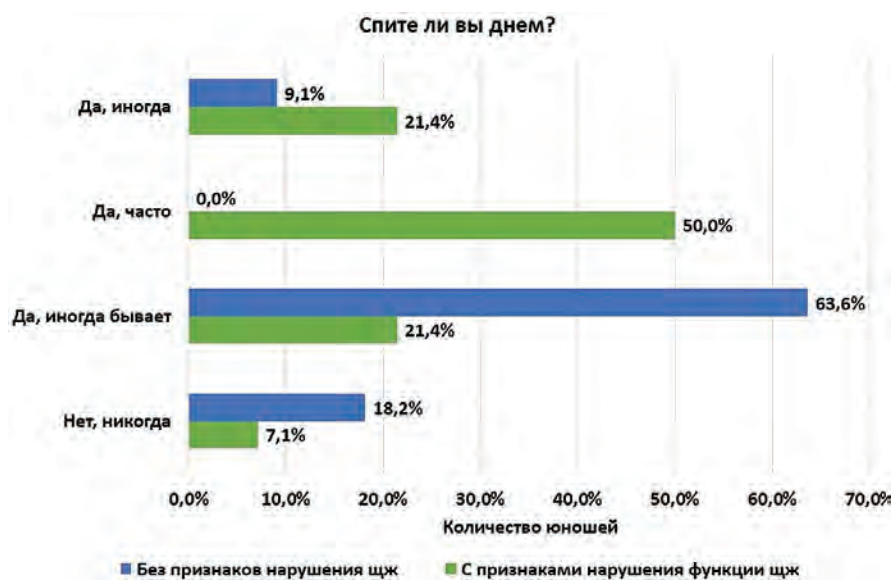


Рисунок 5

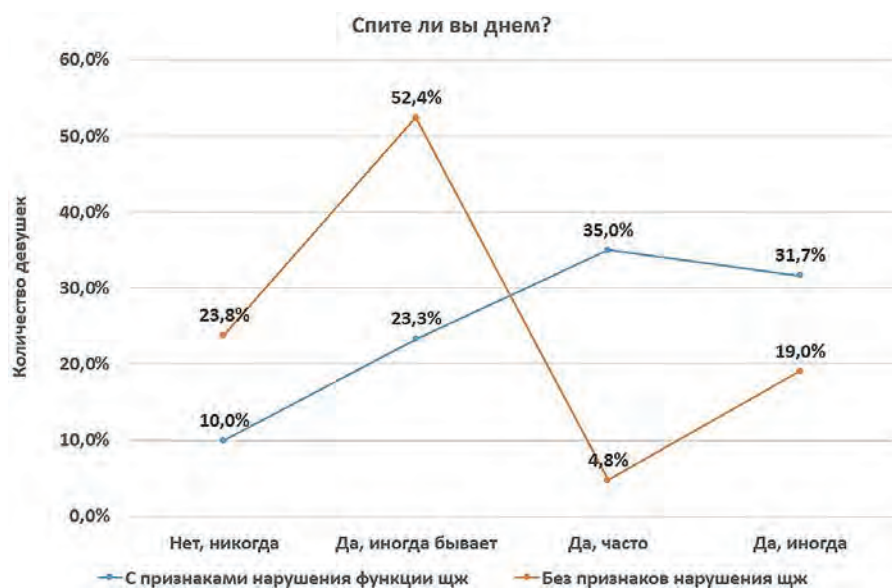


Рисунок 6



Рисунок 7



Рисунок 8



Рисунок 9

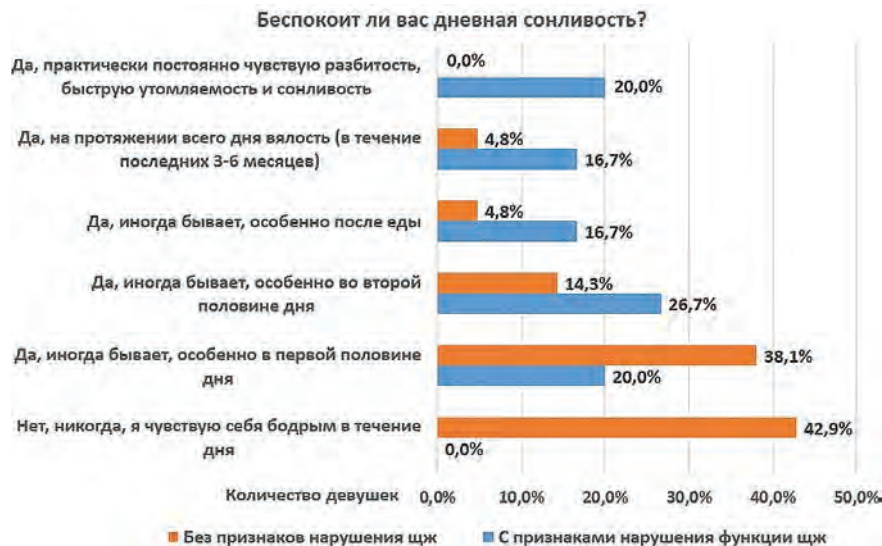


Рисунок 10

Нарушение сна наиболее выражено у лиц мужского пола с выявленными признаками нарушений функции щитовидной железы, что является одним из факторов риска, способствующих развитию и прогрессированию компонентов МС. Поэтому мы проводим дальнейшие исследования для повышения эффективности оказания профилактических мероприятий и коррекционных программ студентам с выявленными факторами риска развития МС. Важная роль при этом отводится рациональному режиму сна и бодрствования, умственной и физической деятельности, гигиеническому воспитанию и повышению медицинской информированности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-портал министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by/>. – Дата доступа: 21.01.2022
2. Ковальзон В. М. Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла «бодрствование-сон» // М.: БИ-НОМ. Лаборатория знаний. - 2012. – 239 с.
3. Полуэктов М. Г. Нарушения сна в молодом возрасте: инсомнии и расстройства дыхания во сне // Лечащий Врач. 2011; 5: с.10–15.
4. Полуэктов М. Г. Эндокринная система и нарушения сна / Под ред. Левина Я. И. Полуэктова М. Г. Сомнология и медицина сна. М., 2013.с. 408–422.
5. Ragusa F., Fallahi P., Elia G. et al. Hashimotos' thyroiditis: epidemiology, pathogenesis, clinic and therapy // Best. Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab. 2019. Vol. 33. № 6. P. 101367.
6. Taylor P.N., Albrecht D., Scholz A. et al. Global epidemiology of hyperthyroidism and hypothyroidism // Nat. Rev. Endocrinol. 2018. Vol. 14. № 5. P. 301–316.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ METHODOLOGICAL APPROACHES TO HEALTH RISKS ASSESSMENT DUE TO EXPOSURE OF VOLATILE ORGANIC CHEMICALS IN DRINKING WATER

**Е. В. Дроздова, И. А. Просвирякова,
Т. З. Суровец, А. В. Фираго, Н.А. Долгина, Н. В. Буневич
A. Drazdova, I. Prasvirakova, T. Suravets, H. Firaho, N. Dalhina, N. Bunevich**

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
Минск, Республика Беларусь
water@rspch.by

Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Republic of Belarus

Хлорирование питьевой воды остается традиционным, экономически целесообразным, наиболее распространенным методом обеззараживания воды поверхностных источников водоснабжения, а также

является источником поступления в питьевую воду побочных продуктов дезинфекции – тригалометанов, обладающих потенциальными отдаленными эффектами воздействия на здоровье. В работе представлены результаты апробации метода оценки риска здоровью населения, ассоциированного с содержанием указанных веществ в питьевой воде с учетом множественности путей их поступления. Показано, что суммарный потенциальный канцерогенный риск значительно выше при учете трех путей поступления в сравнении с только пероральным путем поступления, наибольший вклад вносит ингаляционный путь. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета множественных путей поступления при гигиенической регламентации летучих органических соединений в питьевой воде и оценке рисков здоровью для обоснования реализаций мероприятий по его снижению.

Chlorination of drinking water remains the traditional, economically feasible, most common method of disinfecting water from surface water sources, and there is also a source of disinfection by-products – trihalomethanes with potentially long-term effects properties. The work presents the results of testing the method of assessing the risk to public health associated with the content of these substances in drinking water, taking into account the multiplicity of paths of entry. It is shown that the total potential carcinogenic risk is significantly higher when taking into account the three pathways of entry compared with only the oral route of entry, the greatest contribution is made by the inhalation route. The results obtained testify to the necessity of taking into account multiple pathways of exposure for hygienic regulation of volatile organic compounds in drinking water and health risk assessment in order to substantiate the implementation of measures to reduce it.

Ключевые слова: питьевая вода, здоровьесбережение, хлорирование, тригалометаны, хлороформ, оценка рисков здоровью.

Keywords: drinking water, health protection, chlorination, trihalomethanes, chloroform, health risk assessment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-77-80>

Обеспечение населения питьевой водой надлежащего качества и безопасности, выявление факторов риска для здоровья населения, ассоциированного с качеством питьевой воды, является одним из наиболее существенных и эффективных инструментов профилактики инфекционной (неинфекционной) заболеваемости и укрепления здоровья населения.

Хлорирование питьевой воды остается традиционным, экономически целесообразным и, соответственно, наиболее распространенным методом обеззараживания воды поверхностных источников водоснабжения [1]. Одновременно с выполнением своей основной функции – предупреждение инфекционных заболеваний, ассоциированных с водным фактором, применение наиболее распространенных способов обеззараживания воды (реагентных) может приводить к образованию побочных продуктов дезинфекции. Высокое содержание органических веществ в поверхностных водах приводит к образованию большего количества побочных продуктов дезинфекции по сравнению с подземными водами. Так, хлорирование может быть источником поступления в питьевую воду более 700 веществ (побочных продуктов), ряд из которых обладают отдаленными эффектами воздействия, например, тригалометаны (далее – ТГМ) [2, 3]. Употребление питьевой воды, содержащей побочные продукты хлорирования (хлороформ, дихлорбромметан, хлордибромметан и бромформ и другие ТГМ) в повышенных концентрациях повышает риски развития рака мочевого пузыря, рака прямой кишки, нарушения течения беременности у женщин (задержка внутриутробного развития плода, снижение массы тела новорожденных, преждевременные роды, врожденные дефекты развития плода). Часть побочных продуктов дезинфекции обладают канцерогенными свойствами – по данным Агентства по охране окружающей среды США (USEPA) по степени доказанности канцерогенного действия на человека относятся к группам B1, B2 и C [2, 3].

Особая значимость ТГМ обусловлена тем, что они являются летучими органическими соединениями и комплексно поступают в организм человека при использовании хлорированной воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях. Величина потенциального риска здоровью населения формируется наряду с пероральной экспозицией, также и ингаляционным поступлением ТГМ при испарении питьевой воды и кожным поступлением, обусловленным способностью ТГМ проникать через неповрежденные кожные покровы во время приема душа, ванной, хозяйственно-бытовой деятельности [4].

Действующая в республике методология гигиенического нормирования и оценки рисков здоровью от химических веществ в питьевой воде основывается лишь на учете перорального пути их поступления в организм. В то же время поступление летучих органических соединений, в том числе, побочных продуктов хлорирования (хлороформа и других тригалометанов) ингаляционно и через кожу при хозяйственно-бытовой деятельности может вносить существенный вклад в суммарную экспозицию и повышать риски здоровью. В странах дальнего и ближнего зарубежья этот аспект учтен при гигиенической регламентации содержания побочных продуктов дезинфекции в питьевой воде. По данным Агентства по охране окружающей среды США (USEPA) и Европейского сообщества (ЕС), максимально допустимое количество ТГМ в питьевой воде составляет 80 и 100 мкг/л соответственно [3, 5], в то время как в нашей стране 200 мкг/л.

В этой связи, обоснование применения технологии оценки риска, ассоциированного с содержанием химических веществ в питьевой воде, учитывающей множественность путей поступления летучих химических

веществ в организм из воды на примере побочных продуктов хлорирования, является актуальной задачей для Республики Беларусь.

Исследования проводились в рамках задания 01.01. «Разработать метод гигиенической оценки летучих химических веществ в питьевой воде» (подпрограмма «Безопасность среды обитания человека» ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг», 2021–2025 гг.).

В рамках указанной НИР разработан метод оценки рисков здоровью, связанный с воздействием химических веществ в питьевой воде с учетом комплексного поступления, и обоснована необходимость его применения при оценке рисков здоровью для летучих органических веществ в питьевой воде. Проведена апробация указанного метода для оценки рисков, связанных с присутствием в питьевой воде приоритетных тригалометанов.

Апробация метода проведена на основании данных лабораторных исследований за среднесрочный период по содержанию приоритетных ТГМ (хлороформа, 1,2-дихлорэтана, трихлорэтилена, тетрахлорэтилена, бромформа, дибромхлорметана, бромдихлорметана, тетрахлорэтана) в питьевой воде централизованной системы водоснабжения одного из крупных населенных пунктов.

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью пакета Statistica 12.0. Оценка соответствия полученных данных нормальному распределению осуществлялась при помощи критериев W теста Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk W test) и Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллефорса (Kolmogorov–Smirnov & Lilliefors test for normality). Распределение данных считалось отличным от нормального (непараметрическим) при уровне значимости указанных показателей $p < 0,05$. Для характеристики уровня загрязнения ТГМ питьевой воды использованы медиана (Me), интерквартильный размах [25%; 75%] и 95-й процентиль (95P). Достоверность различий между осенне-зимним и весенне-летним периодами года определялась при уровне значимости $p < 0,05$ по U-критерию Манна–Уитни.

Оценка среднесуточного поступления ТГМ выполнена с учетом стандартных факторов экспозиции (скорость поступления воздействующей среды – 2 л/сут; продолжительность воздействия – 70 лет; частота воздействия – 365 дней/год; масса тела – 70 кг; период осреднения экспозиции – 70 лет).

Оценка потенциального канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды химическими веществами, обладающими беспороговым (канцерогенным) механизмом воздействия проводилась с учетом перорального, ингаляционного и кожного пути поступления химических веществ в организм человека (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты оценки потенциального канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды химическими веществами, обладающими беспороговым (канцерогенным) механизмом воздействия

Вещество	Хлороформ	Бромдихлор-метан	Дибромхлор-метан	Бромформ	Суммарный риск
CAS	67-66-3	75-27-4	124-48-1	75-25-2	
Потенциальный канцерогенный риск при пероральном пути поступления	1,85E-05	1,43E-06	2,40E-06	2,26E-07	2,26E-05
Потенциальный канцерогенный риск при ингаляционном пути поступления	1,63E-04	4,11E-04	2,15E-04	5,37E-06	7,94E-04
Потенциальный канцерогенный риск при кожном пути поступления	4,52E-06	5,45E-07	1,4E-06	2,1E-07	6,47E-06

По результатам проведенной оценки установлено, что при пероральном пути поступления химических веществ, загрязняющих питьевую воду (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан, бромформ) суммарный потенциальный канцерогенный риск оценивается как приемлемый (Risk – менее 10-6). Приемлемые уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению и их уровни подлежат только периодическому контролю.

При ингаляционном пути поступления химических веществ, загрязняющих питьевую воду (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан, бромформ) суммарный потенциальный канцерогенный риск оценивается как «высокий» ($CR_i = 7,94E-04$). При данном уровне риска необходимо осуществление мероприятий по устранению или снижению риска.

При кожном пути поступления химических веществ, загрязняющих питьевую воду (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан, бромформ) суммарный потенциальный канцерогенный риск оценивается как «допустимый» ($CR_d = 6,47E-06$). На данном уровне риска установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом. Уровни допустимого риска подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Таким образом при апробации метода подтверждено предположение о том, что суммарный канцерогенный риск при комплексном поступлении ТГМ из питьевой воды тремя путями существенно выше, чем только при

пероральном поступлении, наибольший вклад вносит ингаляционное поступление летучих органических веществ. Это еще раз свидетельствует о необходимости и целесообразности учета множественности путей поступления летучих химических веществ в организм из питьевой воды при ее гигиеническом нормировании и оценке рисков здоровью.

Применение адаптированных факторов экспозиции позволило бы снизить неопределенности и повысить надежность оценок. С этой целью были проведены пилотные исследования по установлению характерных для условий республики факторов экспозиции, проведено изучение интенсивности водопользования методом анкетирования. Разработанная анкета, включающая в себя ряд разделов, в том числе, информацию о виде используемой воды дома, наличии посудомоечной машины, среднем объеме выпиваемой ежедневно воды, использовании бутилированной и прошедшей через фильтр воды, виде воды выпиваемой на работе, в школе и в учебном заведении, частоте и длительности различных видов хозяйственно-бытового водопользования, и прочее. Анкетирование проводили в семьях с маленькими детьми, как наиболее уязвимой группы, отобранных случайным методом, в различных районах г. Минска (водоснабжаемых из поверхностных источников и подземных) с целью учета поведенческих различий в зависимости от использования воды, содержащей побочные продукты реагентной дезинфекции. В анкетировании приняло участие 365 семей. Всего проанкетированы 1003 респондента с различной половозрастной структурой, из них 552 составили женщины, 451 – мужчины, в том числе 703 – взрослые, 84 – дети в возрасте от 0 до 6 лет, 216 – дети в возрасте от 6 до 18 лет. Среди опрошенных преобладали семьи, проживающие в многоквартирных домах и воспитывающие 1–2 детей. 54,0 % опрошенного населения не устраивает качество подаваемой питьевой воды, основными причинами неудовлетворительного качества питьевой воды являются запах, вкус, жесткость, образование накипи. Наибольшая часть респондентов пьет воду, очищенную после фильтра, для приготовления, пищи, для ванной и душа использует водопроводную воду без очистки. Результаты оценки типов воды, используемых дома, показали, что наибольшая часть респондентов пьет воду доочищенную после фильтра (44,4 %), для приготовления пищи и душа использует водопроводную воду без очистки (46,3 % и 96,7 % соответственно). Количество воды, выпиваемой всеми респондентами в целом в сутки (в среднем) составило $1,3 \pm 0,7$ л, взрослыми – $1,4 \pm 0,7$ л, детьми в возрасте 6–18 лет – $1,2 \pm 0,7$ л, детьми в возрасте 0–6 лет – $0,88 \pm 0,5$ л. Среди опрошенных 25,8 % используют бутилированную воду для питья, 11,8 % – для приготовления напитков, 7,1 % – для приготовления пищи. 29,6 % респондентов употребляют воду, расфасованную в емкости, для всей семьи, 1,7 % – только для детей. При выборе бутилированной воды потребители наибольшее значение уделяют наименованию производителя, ее происхождению, а также типу и виду. В среднем население в неделю использует 15,2 л бутилированной воды. Наибольшая часть анкетизируемых принимает душ 1 раз в день (70,6 %) до 15 минут, в том числе 71,8 % мужчин, 67,2 % женщин, 68,3 % взрослых, 73,6 % детей в возрасте от 6 до 18 лет, 65,5 % детей в возрасте от 0 до 6 лет. Большинство респондентов принимают ванную 1 раз в неделю (37,0 %) до 30 минут, в том числе 33,5 % мужчин, 38,2 % женщин, 47,7 % детей в возрасте от 6 до 18 лет, 34,5 % детей в возрасте от 0 до 6 лет, 33,4 % взрослых ванную не принимают.

Полученные данные могут быть использованы на этапах оценки экспозиции с учетом региональных аспектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Formation and toxicity of brominated disinfection byproducts during chlorination and chloramination of water: a review / V. K. Sharma [et al.] // J. Environ Sci Health B. – 2014. – Vol. 49(3). – P. 212-228.
2. Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union / I. Evlampidou [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2020. – Vol. 128, № 1. – P. 1-14.
3. EPA Drinking Water Guidance on Disinfection By-Products. Advice Note No. 4. Version 2 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/DrinkingWaterGuide4_v8.pdf. – Date of access: 15.03.2018.
4. Trihalomethanes in urban drinking water: measuring exposures and assessing carcinogenic risk / H. Sadeghi [et al.] // Journal of Environmental Health Science and Engineering. – 2019. – Vol. 17. – P. 619–632.
5. EPA/600/R-06/087 Exposures and internal doses of trihalomethanes in humans: multi-route contributions from drinking water [Electronic resource]. – Mode of access : <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/.pdf>. – Date of access: 15.01.2018.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА, ФОРМИРУЕМАЯ
ИСТОЧНИКАМИ ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ 50 Гц В Г. МИНСКЕ**
**ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD OF 50 HZ FREQUENCY
IN A RESIDENTIAL AREA OF MINSK**

Т. В. Захаренко, И. В. Соловьева, И. В. Арбузов, А. Ю. Баслык, А. В. Кравцов
T. Zakharanka, I. Solowjova, I. Arbuzov, A. Baslyk, A. Krautsou

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь,
rspch@rspch.by*

*Republican unitary enterprise "Scientific and practical centre of hygiene",
Minsk, Republic of Belarus,
rspch@rspch.by*

В статье представлены результаты исследований напряженности/магнитной индукции электромагнитных полей частоты 50 Гц от различных источников в г. Минске, проведенных в 2019 г. По результатам исследований установлены зоны возможного влияния электромагнитных полей тока промышленной частоты 50 Гц на население в условиях проживания, определены численность и половозрастная структура населения, проживающего в этих зонах.

The article presents the results of studies of the intensity /magnetic induction of electromagnetic fields of frequency 50 Hz from various sources in Minsk, conducted in 2019. According to the results of the research, the zones of possible influence of electromagnetic fields of an industrial frequency of 50 Hz on the population in living conditions have been established, the number and gender and age structure of the population living in these zones have been determined.

Ключевые слова: электрические поля частоты 50 Гц, магнитные поля частоты 50 Гц, территория жилой застройки.

Keywords: electric field of 50 Hz frequency, magnetic field of 50 Hz frequency, residential area.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-81-84>

Основными источниками электрических и магнитных полей частоты 50 Гц (далее – ЭП 50 Гц и МП 50 Гц) в условиях населенных мест являются линии электропередачи различного напряжения (далее – ЛЭП), электрические подстанции открытого и закрытого типа различного напряжения, силовые кабели, распределительные устройства [1].

В 2019 году в рамках задания «Разработать метод оценки потенциального риска здоровью населения, обусловленного воздействием электромагнитных полей тока промышленной частоты 50 Гц» подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг» специалистами лаборатории физических факторов среды обитания человека республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» были проведены измерения напряженности ЭП 50 Гц и магнитной индукции МП 50 Гц в г. Минске. В качестве объектов исследований были выбраны 48 ЛЭП напряжением 10 кВ, 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ, 330 кВ; 59 электрических подстанций и 5 распределительных пунктов электрической сети. Измерения проводились с применением измерителя напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50 и измерителя параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентного ВЕ-метр-АТ-003.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1. Анализ значений напряженности ЭП 50 Гц и магнитной индукции МП 50 Гц, измеренных от силовых кабелей, распределительных устройств и электрических подстанций напряжением 110/10 кВ закрытого типа, ЛЭП напряжением 35 кВ и 10 кВ показал, что данные источники ЭП 50 Гц и МП 50 Гц не вносят существенного вклада в электромагнитную обстановку территории жилой застройки [2].

2. На территориях, прилегающих к электрическим подстанциям открытого типа напряжением 110/10 кВ, были отмечены относительно высокие значения напряженности ЭП 50 Гц и магнитной индукции МП 50 Гц. На рисунке 1 на примере электрической подстанции открытого типа напряжением 110/10 кВ «Петровщина» представлена схема распределения значений напряженности ЭП 50 Гц по периметру и по высоте от поверхности земли, которая определяется взаимным расположением основного и вспомогательного электрооборудования подстанции.

Максимальные значения напряженности ЭП 50 Гц по периметру наблюдаются у стороны, над которой ЛЭП «входят» в подстанцию. Распределение значений напряженности ЭП 50 Гц по высоте имеет тенденцию к увеличению с высотой с максимальными значениями на высоте 1,7 м.

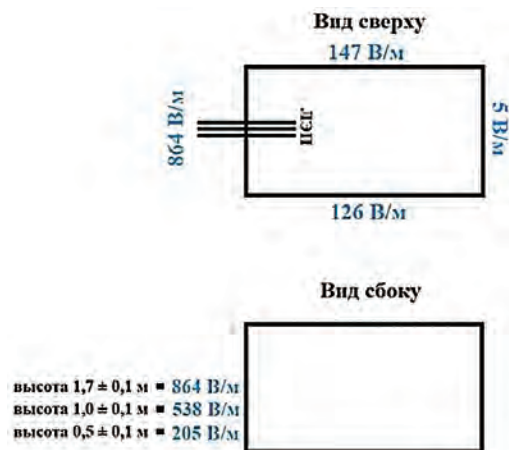


Рисунок 1 – Распределение уровней напряженности ЭП 50 Гц от электрической подстанции «Петровщина»

3. Источником ЭП 50 Гц и МП 50 Гц от ЛЭП являются провода. Напряженность ЭП 50 Гц под ЛЭП зависит от класса напряжения ЛЭП, магнитная индукция МП 50 Гц зависит от нагрузки, высоты подвески, расстояния между проводами, растительного покрова рельефа под ЛЭП.

Самые высокие значения напряженности ЭП 50 Гц и магнитной индукции МП 50 Гц регистрировались возле ЛЭП напряжением 330 кВ, 220 кВ и 110 кВ. Измерения проводились с удалением от источников до тех расстояний, на которых фиксировались принятые фоновыми для окружающей среды значения напряженности ЭП 50 Гц $E = 5 \text{ В/м}$ и магнитной индукции МП 50 Гц $B = 115 \text{ нТл}$. Значения напряженности ЭП 50 Гц и магнитной индукции МП 50 Гц в зависимости от расстояния от крайнего провода ЛЭП напряжением 110 кВ представлены на рисунке 2 и рисунке 3.

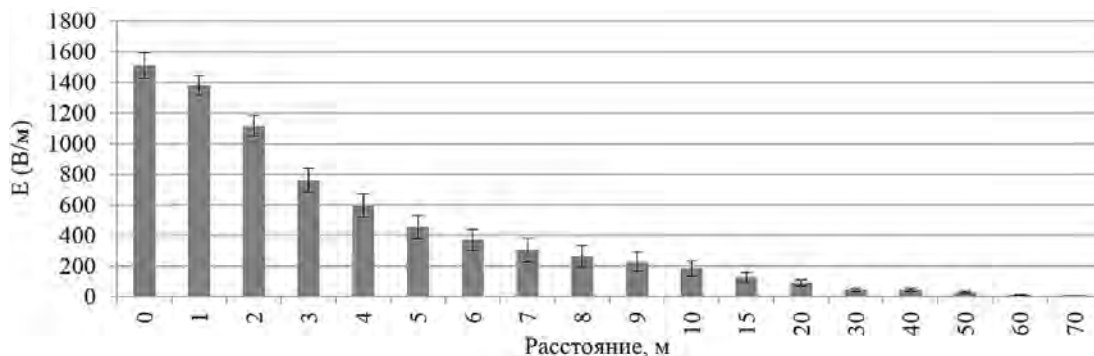


Рисунок 2 – Затухание напряженности ЭП 50 Гц до фоновых значений от ЛЭП напряжением 110 кВ

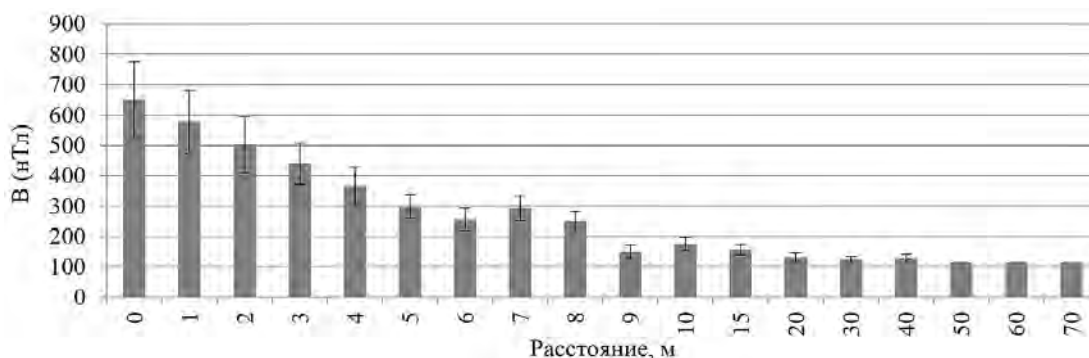


Рисунок 3 – Затухание магнитной индукции МП 50 Гц до фоновых значений от ЛЭП напряжением 110 кВ

Как видно из рисунков 2 и 3, фоновые значения напряженности ЭП 50 Гц и магнитной индукции МП 50 Гц от ЛЭП напряжением 110 кВ регистрировались на расстоянии 70 м от крайнего провода.

Фоновые значения напряженности ЭП 50 Гц от ЛЭП напряжением 220 кВ регистрировались на расстоянии 90 м, а от ЛЭП 330 кВ – на расстоянии 160 м; фоновые значения магнитной индукции МП 50 Гц от ЛЭП напряжением 220 кВ регистрировались на расстоянии 90 м от крайнего провода, а от ЛЭП 330 кВ – на расстоянии 120 м.

Эти данные позволяют говорить о том, что ЛЭП существенно увеличивают напряженность ЭП 50 Гц и магнитной индукции МП 50 Гц по сравнению с фоновыми значениями (без ЛЭП). Следует отметить, что значения магнитной индукции МП 50 Гц с увеличением расстояния от крайнего провода быстрее приближаются к фоновым (по сравнению со значениями напряженности ЭП 50 Гц).

На следующем этапе исследований были установлены зоны возможного влияния ЭП 50 Гц и МП 50 Гц на человека в условиях проживания с определением численности и половозрастной структуры населения, проживающего в этих зонах.

В г. Минске ЛЭП напряжением 220 кВ и 330 кВ не проходят через территорию жилой застройки. В радиусе 70 м от ЛЭП напряжением 110 кВ находится 40 жилых многоквартирных домов и 39 жилых многоквартирных домов усадебного типа. ЛЭП напряжением 110 кВ в основном «проходят» возле жилых домов, находящихся на юго-востоке, юго-западе и севере Минска: в микрорайонах Степянка, Новинки, Чижевка, Северный поселок, а также в районе улиц Лилии Карастояновой, Рафиева, Тухачевского и Кулешова.

Данные о количестве населения, проживающего в вышеуказанных жилых домах в период 2010–2019 гг., представлены в таблице 1. В исследованиях отдельно учитывалось взрослое (≥ 18 лет) население и детское (≤ 17 лет) население.

Таблица 1 – Количество населения, проживающего в зоне возможного воздействия ЭП 50 Гц и МП 50 Гц

Год	Количество взрослого (≥ 18 лет) населения	Количество детского (≤ 17 лет) населения
2010	4701	723
2011	4840	723
2012	4874	720
2013	4913	753
2014	4860	803
2015	4861	808
2016	4807	799
2017	4826	823
2018	4880	829
2019	4833	858
Среднее значение, $M \pm m$	$4839,5 \pm 19,11$	$783,9 \pm 16,73$
Среднеквадратическое отклонение, σ	57,33	50,20

Половая структура населения, проживающая в зоне возможного воздействия ЭП 50 Гц и МП 50 Гц, представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Половая структура населения, проживающего в зоне возможного воздействия ЭП 50 Гц и МП 50 Гц

Год	Взрослое (≥ 18 лет) население		Детское (≤ 17 лет) население	
	женщины, %	мужчины, %	девочки, %	мальчики, %
2010	57,16	42,84	52,70	47,30
2011	57,40	42,60	50,62	49,38
2012	57,32	42,68	50,56	49,44
2013	57,58	42,42	51,66	48,34
2014	57,61	42,39	47,20	52,80
2015	57,27	42,73	49,88	50,12
2016	56,98	43,02	50,69	49,31
2017	56,96	43,04	51,15	48,85
2018	56,95	43,05	50,42	49,58
2019	57,00	43,00	49,53	50,47

Возрастная структура населения, проживающая в зоне возможного воздействия ЭП 50 Гц и МП 50 Гц, представлена в таблице 3.

Полученные данные о населении, проживающем в зоне возможного влияния ЭП 50 Гц и МП 50 Гц, использованы при формировании экспонируемой группы для изучения заболеваемости болезнями нервной, сердечно-сосудистой и репродуктивной систем человека [3].

Таблица 3 – Возрастная структура населения, проживающего в зоне возможного воздействия ЭП 50 Гц и МП 50 Гц

Год	Взрослое (≥ 18 лет) население							Детское (≤ 17 лет) население	
	18-30 лет, %	31-40 лет, %	41-50 лет, %	51-60 лет, %	61-70 лет, %	71-80 лет, %	≥ 81 лет, %	0-14 лет, %	15-17 лет, %
2010	25,55	16,44	19,66	15,78	7,10	10,72	4,74	81,60	18,40
2011	25,87	16,80	18,78	16,45	7,44	9,75	4,92	82,99	17,01
2012	25,87	16,82	17,79	17,58	7,63	8,95	5,35	84,72	15,28
2013	24,71	17,57	17,18	18,58	8,10	8,06	5,80	86,06	13,94
2014	23,79	18,21	16,21	19,57	8,93	7,43	5,86	88,54	11,46
2015	22,73	18,62	15,78	20,26	9,85	6,85	5,90	88,86	11,14
2016	21,18	19,64	15,12	20,24	11,13	6,43	6,26	91,49	8,51
2017	19,39	20,97	15,00	20,10	12,06	5,86	6,61	91,37	8,63
2018	18,52	21,58	14,94	19,63	12,97	5,76	6,60	93,24	6,76
2019	16,95	22,06	15,52	19,08	14,26	5,61	6,54	92,19	7,81

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование электромагнитных полей частотой 50 Гц на селитебных территориях и экспертная оценка состояния здоровья населения / В.Н. Никитина [и др.] // Гигиена и санитария. – 2019. – № 98(6). – С. 665–670.
2. Захаренко, Т.В. Исследование уровней низкочастотных электромагнитных полей на территориях жилой застройки, прилегающих к трансформаторным подстанциям / Т.В. Захаренко, Е.П. Сарапина // Сборник научных статей XII Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых «Проблемы и перспективы развития современной медицины». // ГомГМУ. – Гомель, 2020. – Т. 3. – С. 12–14.
3. Захаренко, Т.В. Исследование заболеваемости населения, подвергающегося воздействию электрического и магнитного полей тока промышленной частоты 50 Гц / Т.В. Захаренко [и др.] // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Белорусского государственного медицинского университета. // БГМУ. – Минск, 2021. – С. 1708–1711.

НЕКОТОРЫЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ SOME EFFECTS OF STATIC MAGNETIC FIELD ON THE BODY OF WORKERS

И. В. Соловьева, А. В. Кравцов, И. В. Арбузов, А. Ю. Баслык, Т. В. Захаренко
I. Solowjova, A. Krautsou, I. Arbuzov, A. Baslyk, T. Zakharanka

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь
rspch@rspch.by*

*Republican unitary enterprise “Scientific and practical centre of hygiene”,
Minsk, Republic of Belarus*

В статье представлены некоторые результаты исследований влияния постоянного магнитного поля на медицинский персонал, работающий в кабинетах магнитно-резонансной томографии. Проанализированы уровни воздействия магнитной индукции постоянного магнитного поля и время его негативного влияния. Выявлены неблагоприятные субъективные реакции медицинского персонала, подтвержденные выраженным изменением функционального состояния нервной системы и общего уровня работоспособности к концу рабочего дня у медицинского персонала кабинетов магнитно-резонансной томографии.

The article presents some results of studies of the effect of static magnetic field on medical personnel working in magnetic resonance imaging rooms. The levels of influence of magnetic induction of static magnetic field and the time of its negative influence are analyzed. Adverse subjective reactions of medical personnel were revealed, confirmed by a pronounced change in the functional state of the nervous system and the general level of efficiency by the end of the working day in the medical staff of magnetic resonance imaging offices.

Ключевые слова: постоянное магнитное поле, магнитная индукция, медицинский персонал, дозо-временные нагрузки, кабинеты магнитно-резонансной томографии.

Keywords: static magnetic field, magnetic induction, medical personnel, dose-time loads, magnetic resonance imaging rooms.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-84-87>

Здоровье населения – один из показателей, определяющих экономический, интеллектуальный и культурный потенциал страны. В соответствии с концепцией Всемирной организации здравоохранения «работа и здоровье, работа и болезни» находятся в сложных взаимосвязях и не всегда зависимость воздействия специфических причинных факторов может быть полностью установлена, а сами факторы могут быть идентифицированы, измерены, в конечном счете, взяты под контроль. Поэтому физические, а также вредные химические и биологические производственные факторы, если их воздействие превышает гигиенические нормативы, рассматривают как одну из причин снижения общего уровня работоспособности и риска развития профессионально обусловленной заболеваемости. Условия труда, его характерные особенности наряду с другими факторами риска могут способствовать развитию болезней [1].

Одним из физических факторов, получившим широкое распространение в медицине, является постоянное магнитное поле. Его используют в магнитотерапии для ускорения процесса заживления ран [2], для благоприятного влияния на течение воспалительных процессов, для замедления роста опухолевых клеток и их ликвидации [3], а также в других направлениях лечения и реабилитации пациентов с различными заболеваниями. Главной областью применения магнитных полей в медицине является диагностика с использованием магнитно-резонансной томографии. Важнейшим преимуществом магнитно-резонансной томографии по сравнению с другими методами диагностики является отсутствие ионизирующего излучения и как следствие эффектов канцеро- и мутагенеза, с риском возникновения которых сопряжено (хотя и в очень незначительной степени) воздействие рентгеновского излучения. Однако работа магнитно-резонансного томографа сопровождается наличием комплекса вредных и опасных факторов, основным из которых является постоянное магнитное поле, что требует научного обоснования мер по обеспечению гигиенической безопасности медицинского персонала [1].

В рамках задания «Разработать методологию оценки риска здоровью работающих при различных дозо-временных нагрузках воздействия постоянного магнитного поля на рабочих местах» подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» Государственной научно-технической программы «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг» специалистами республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» были выполнены комплексные гигиенические исследования, включающие:

- изучение фактических уровней воздействия постоянного магнитного поля на рабочих местах и определение зон пребывания работников;
- определение дозо-временных нагрузок постоянного магнитного поля на работников на основе инструментальных измерений уровней магнитной индукции в зонах возможного пребывания работников и времени нахождения их в этих зонах,
- изучение субъективной реакции работников и изменений функционального состояния нервной системы в условиях постоянного магнитного поля;
- оценку влияния постоянного магнитного поля на работников на основе физиолого-гигиенических исследований состояния нервной и сердечно-сосудистой систем.

Исследования проводились в 11 медицинских учреждениях г. Минска и Минской области, эксплуатирующих магнитно-резонансные томографы с номинальным уровнем магнитной индукции 1,5 Тл. В кабинетах магнитно-резонансной томографии на рабочих местах медицинского персонала на основании карт фотографий рабочего времени проведен хронометраж времени нахождения медицинского персонала в зонах с разными уровнями магнитной индукции постоянного магнитного поля и установлена продолжительность нахождения работников в зонах с низкой, умеренной и высокой нагрузкой. Измерения уровней магнитной индукции постоянного магнитного поля на рабочих местах персонала при локальном воздействии проводились в областях фаланг пальцев кистей, середины предплечья и середины плеча, при общем воздействии – на высоте от опорной поверхности $0,5 \pm 0,1$ м, $1 \pm 0,1$ м и $1,7 \pm 0,1$ м. Статистическая обработка результатов исследований проведена общепринятыми методами с использованием Microsoft Office Excel 2016 и StatSoft Statistica 10 (серийный номер лицензии BXXR207F383402FA-V).

В процессе трудовой деятельности медицинские работники кабинета магнитно-резонансной томографии выполняют исследования, которые по уровню воздействия постоянного магнитного поля можно разделить на три группы: исследования головного мозга и шейного отдела позвоночника, исследования грудного, поясничного отделов позвоночника и области таза, исследования нижних конечностей. По результатам выполненных исследований установлено, что медицинские работники в процессе выполнения профессиональных обязанностей подвергаются воздействию постоянного магнитного поля в течение $254,2 \pm 14,6$ минут рабочего времени, что составляет более 50 % от всей рабочей смены. В зоне с низкой дозо-временной нагрузкой, где магнитная индукция постоянного магнитного поля не превышает допустимых уровней, находятся рабочие места персонала при работе с ПЭВМ в пультовой, в диагностической в зоне склада принадлежностей и катушек.

Усредненное время нахождения медицинского персонала в этой зоне составляет 39,1 % от восьмичасовой рабочей смены.

К зоне с умеренной нагрузкой, где уровни магнитной индукции постоянного магнитного поля выше предельно допустимых уровней для восьмичасового рабочего времени воздействия, но ниже предельно допустимых уровней для 10 минутного времени воздействия, относятся зона в центре стола укладки пациента на уровне установки катушки для исследования области таза человека и зона ножного края кушетки на уровне установки катушки для исследования области голеностопного сустава человека. Время воздействия на медицинский персонал магнитной индукции постоянного магнитного поля в зоне с умеренной дозо-временной нагрузкой составляет 15,3 % времени от восьмичасовой рабочей смены.

К зонам с повышенной дозой воздействия магнитной индукции постоянного магнитного поля относятся: зона на уровне панели управления столом для укладки пациента с непосредственным контактом с корпусом магнитно-резонансного томографа в области фаланг пальцев кистей с уровнями магнитной индукции постоянного магнитного поля $91,8 \pm 3,5$ мТл, в области середины предплечья – с уровнями $79,2 \pm 1,5$ мТл, в области середины плеча – с уровнями $74,9 \pm 0,4$ мТл; зона нахождения медицинского работника при центрировании пациента с уровнями магнитной индукции постоянного магнитного поля в области фаланг пальцев кистей $255,6 \pm 6,2$ мТл, в области середины предплечья – с уровнями $207,4 \pm 1,5$ мТл, в области середины плеча – с уровнями $74,4 \pm 5,6$ мТл. Время воздействия на медицинский персонал постоянного магнитного поля в зоне с повышенной нагрузкой составляет 5,8 % времени от восьмичасовой рабочей смены.

В таблице 1 представлены результаты хронометражных наблюдений рабочей смены медицинского персонала, работающего в кабинете магнитно-резонансной томографии с номинальным уровнем магнитной индукции постоянного магнитного поля в камере томографа 1,5 мТл.

Таблица 1 – Результаты хронометражных наблюдений рабочего дня медицинского персонала, работающего в кабинете магнитно-резонансной томографии с номинальным уровнем магнитной индукции постоянного магнитного поля томографа 1,5 мТл

№ п/п	Наименование операции трудового процесса	Время воздействия, %	
		от общего времени рабочей смены	от времени воздействия постоянного магнитного поля за смену
1.	Наличие воздействия постоянного магнитного поля в процессе трудовой деятельности медицинского персонала	53,0±2,8	–
1.1.	Нахождение в зоне с высокой дозо-временной нагрузкой (на уровне панели управления столом для укладки пациента при непосредственном контакте с корпусом магнитно-резонансного томографа, зона нахождения медицинского работника при центрировании пациента)	5,8±0,3	10,9±0,4
1.2.	Нахождение в зоне с умеренной дозо-временной нагрузкой (зона в центре стола укладки пациента на уровне установки катушки для исследования области таза человека и зона ножного края кушетки на уровне установки катушки для исследования области голеностопного сустава человека)	8,1±0,5	15,3±0,4
1.3.	Нахождения в зоне с низкой дозо-временной нагрузкой (работа с ПЭВМ в пультовой, в диагностической в зоне склада принадлежностей и катушек)	39,1±2,1	73,8±0,2
2.	Отсутствие воздействия постоянного магнитного поля в процессе трудовой деятельности медицинского персонала (прием смены и ознакомление с планом работ, подготовка пациента к процедуре, перемещение в пространстве обусловленным технологическим процессом)	47,0±2,8	–

Изучение субъективной реакции медицинского персонала, работающего в условиях воздействия постоянного магнитного поля, проводилось на основании анкеты, включающей вопросы, посвященные оценке психического самочувствия, а также возможных заболеваний, имеющиеся в анамнезе опрашиваемого, артериальном давлении, частоте сердечных сокращений, должности, возрасте, поле, весе и росте опрашиваемых.

По полученным результатам оценки субъективного состояния медицинского персонала, работающего в условиях воздействия постоянного магнитного поля, в 18 % случаев отмечены болезни нервной системы (судороги, проблемы с межпозвоночными дисками, в частности смещенный или поврежденный диск) и в 18 % случаев – болезни щитовидной железы, у 26 % опрошенных женщин отмечались нарушения менструального цикла. По основным гемодинамическим показателям, указанным респондентами, среднее систолическое артериальное давление опрошенных лиц составило $126,8 \pm 8,9$ мм. рт. ст., диастолическое – $81,4 \pm 5,1$ мм. рт. ст., частота сердечных сокращений – $71,51 \pm 8,2$ удара в минуту.

На основании субъективной оценки показателей артериального давления и частоты сердечных сокращений медицинского персонала было определено пульсовое давление, которое составило $45,3 \pm 9,1$ мм. рт. ст. Также был рассчитан вегетативный индекс Кердо, определяющий вегетативный баланс нервной системы обследованных работников. Более чем в 70 % обследованных случаях индекс Кердо оказался

отрицательный, что свидетельствовать о сдвиге регуляции систем организма медицинского персонала в сторону симпатикотонии, которая проявляется мобилизацией функциональных ресурсов систем организма человека, а также возможным беспокойством, перевозбуждением и раздражительностью обследованных, что вызывает дополнительные энергетические затраты и снижение работоспособности в динамике рабочего дня [4].

По результатам проведенных физиолого-гигиенических исследований состояния нервной системы тех же работников кабинетов магнитно-резонансной томографии, работающих в условиях воздействия постоянного магнитного поля установлено, что функциональное состояние их нервной системы снижается, что подтверждается ухудшением подвижности нервных процессов в конце рабочего дня, уменьшением лабильности на 16,7 % ($p < 0,05$) и снижением функционального уровня нервной системы при воздействии динамических помех до 3,2 (3,1–3,5) ($p < 0,05$) по сравнению с исходным уровнем 3,3 (3,2–3,6). Кроме того, у обследованных медицинских работников число точных реакций на движущийся объект после рабочего дня ниже на 26,9 % ($p < 0,05$) и составляет 26,0 (19,0–29,0) до рабочего дня и 19,0 (13,0–24,0) после. При этом число реакций опережения статистически значимо возрастает в конце рабочего дня на 44 % до 18,0 (9,0–23,0) при 12,5 (8,0–19,0) в начале дня, при отсутствии изменений числа запаздывающих реакций, что свидетельствует о неуровновешенности нервных процессов в сторону возбуждения и снижения уровня работоспособности [5].

Таким образом, работники кабинетов магнитно-резонансной томографии подвергаются негативному воздействию постоянного магнитного поля с уровнями магнитной индукции, превышающими предельно допустимые, что подтверждается снижением функционального состояния систем организма и ухудшением общей работоспособности к окончанию рабочего дня, а также может являться косвенной причиной субъективных жалоб, предъявляемых медицинским персоналом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казей, Э. К. Комплексная гигиеническая оценка условий труда медицинских работников, занятых в кабинетах магнитно-резонансной томографии / Э. К. Казей // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены – гл. ред. Г. Е. Косяченко. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 29–33.
2. Effect of static magnetic field on experimental dermal wound strength / Y. Ekici, [et al.] // Indian J Plast Surg. – 2012. – Vol. 45, iss. 2. – P. 215–219.
3. Static magnetic field action on some markers of inflammation in animal model system – in vivo / L. Traikov [et al.] // Environmentalist. – 2009. – Vol. 29, iss. 2. – P. 225–231.
4. Зинчук В.В. Нормальная физиология. Краткий курс : учеб. Пособие / В. В. Зинчук, О. А. Балбатун, Ю. М. Емильянчик; под ред. В. В. Зинчук. – 3-е изд., стер. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 431 с. : ил.
5. Соловьева, И. В. Особенности функционального состояния нервной системы у работников кабинетов магнитно-резонансной томографии / И. В. Соловьева [и др.] // БГМУ в авангарде медицинской науки и практики : рецензир. ежегод. сб. науч. тр. / М-во здравоохран. Респ. Беларусь, Бел. гос. мед. ун-т ; редкол.: С. П. Рубникович, В. А. Филонюк. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – Вып. 11. – С. 333 – 337.

ОЦЕНКА РЕАКТИВНОСТИ ОРГАНИЗМА В ХОДЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ У ПАЦИЕНТОВ С ТУБЕРКУЛЕЗОМ ПО КЛЕТОЧНЫМ И БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КРОВИ

EVALUATION OF THE REACTIVITY OF THE ORGANISM DURING COMBINED THERAPY IN PATIENTS WITH TUBERCULOSIS BY CELL PARAMETERS AND BIOCHEMICAL INDICATORS

А. А. Мазурова^{1,2}, Е. М. Шпадарук^{1,2}

A. Mazurova^{1,2}, K. Shpadaruk^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

katsiaryna.shpadaruk@iseu.by, mazurova-anastasiya7@bk.ru

В ходе исследования была проведена оценка реактивности организма пациентов, страдающих туберкулезом, по клеточным и биохимическим показателям периферической крови и интегральным индексам

гомеостаза (лейкоцитарный индекс интоксикации по Кальф-Калифу (ЛИИ), индекс соотношения нейтрофилов к лимфоцитам (ИСНЛ), индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов (ИСНМ), индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ), индекс соотношения лимфоцитов к скорости оседания эритроцитов (ИЛСОЭ) на проведение терапии. В результате исследования нами было установлено, что в ходе терапии у пациентов с туберкулезом популяция эритроцитов является наиболее чувствительным параметром к проводимому лечению. Также наиболее чувствительными и высокоинформативными являются интегральные показатели: индекс соотношения нейтрофилов к лимфоцитам, индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов и индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов.

In the course of the study, an assessment was made of the reactivity of the organism of patients suffering from tuberculosis, according to cellular indicators of peripheral blood and integral indices of homeostasis (leukocyte index of intoxication according to Kalf-Kalif (LII), index of the ratio of neutrophils to lymphocytes (NIL), index of the ratio of neutrophils and monocytes (IRNM), the index of the ratio of lymphocytes and eosinophils (IRLE), the index of the ratio of lymphocytes to the erythrocyte sedimentation rate (IRSOE) for therapy. As a result of the study, we found that during therapy in patients with tuberculosis, the erythrocyte population is the most sensitive parameters to the treatment. Also, the most sensitive and highly informative are integral indicators: the index of the ratio of neutrophils to lymphocytes, the index of the ratio of lymphocytes and eosinophils and the index of the ratio of neutrophils and monocytes.

Ключевые слова: туберкулез, показатели периферической крови, интегральные индексы эндогенной интоксикации, клеточная реактивность.

Keywords: tuberculosis, blood counts, integral indices of endogenous intoxication, cellular reactivity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-87-90>

Введение. Туберкулез – острое инфекционное заболевание, вызываемое *Mycobacterium Tuberculosis*. Основным путём передачи инфекции является аэрогенный (ингаляционный) путь заражения. Лечение туберкулёза является сложным процессом, требующим времени и комплексного подхода. Развитие туберкулеза сопровождается иммунным дисбалансом в клеточном звене [1]. Часто заболевание сопровождается интоксикационным синдромом. Успех в противотуберкулезной терапии во многом обусловлен способностью иммунной системы организма к перестройке и адекватному иммунному ответу. Использование интегральных показателей, часть которых изменяется уже в преднозологическом периоде или на самых ранних стадиях заболевания, позволяет, не прибегая к специальным методам исследования, оценить в динамике состояние различных звеньев иммунной системы [2].

Исследование крови является важным классическим диагностическим методом. Кроветворные органы чрезвычайно чувствительны к различным физиологическим, и особенно патологическим, воздействиям на организм, картина крови является отражением этих действий [2]. Динамика интегральных клеточных показателей крови помогает определить эффективность лечения, охарактеризовать степень интоксикации организма, может способствовать разработке патогенетических основ для ранней диагностики и профилактике токсических проявлений в организме пациентов, тем самым улучшить переносимость специального лечения. Для интегральной оценки организма использовались параметры индексов эндогенной интоксикации: лейкоцитарный индекс интоксикации по Кальф-Калифу (ЛИИ), индекс соотношения нейтрофилов к лимфоцитам (ИСНЛ), индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов (ИСНМ), индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ), индекс соотношения лимфоцитов к скорости оседания эритроцитов (ИЛСОЭ).

Сдвиги в биохимическом составе крови при туберкулезе зависят не только от его формы, но главным образом от фазы процесса, его осложнений и различных сопутствующих заболеваний. У больных с неактивными специфическими изменениями в легких и других органах в сыворотке крови определяется нормальное содержание общего белка, фибриногена, белковых фракций и гликопротеидов, нет отклонений в коагуляционных пробах и т. д.. При свежих, особенно остро протекающих, формах болезни, а также при обострении и прогрессировании хронического процесса наблюдается диспротеинемия, а иногда и гипопроотеинемия, т. е. наступают количественные и качественные изменения в составе белков как проявление неспецифической гуморальной реакции на патологические сдвиги в организме. В таких случаях изменяются коагуляционные пробы, повышается уровень фибриногена, нарушается количественное соотношение белковых фракций и содержание белково-углеводных соединений (глико- и мукопротеидов, серомукоидов) в сыворотке и плазме крови. Острая форма туберкулеза приводит к снижению альбумино-глобулинового коэффициента. Если патология привела к осложнениям в виде поражения печени, повышается уровень трансаминаз, разных фракций билирубина. Эти показатели входят в обязательное обследование пациента с туберкулезом. Ухудшение работы почек может отражаться в повышении креатинина, изменениях скорости клубочковой фильтрации [4].

Цель работы: выявить по изменению содержания отдельных диагностически значимых форменных элементов периферической крови, биохимических показателей крови и показателей интегральных индексов интоксикации реактивность организмов пациентов с туберкулёзом на проведение комбинированной терапии.

Материалы и методы. Объектом исследования являются клинические данные периферической крови 40 пациентов, страдающих туберкулезом. Предметом исследования явились количество эритроцитов, тромбоцитов,

эозинофилов, лейкоцитов, СОЭ, общего белка, креатинина и мочевины, общего билирубина, а также интегральные индексы эндогенной интоксикации: лейкоцитарный индекс интоксикации по Кальф-Калифу (ЛИИ), индекс соотношения нейтрофилов к лимфоцитам (ИСНЛ), индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов (ИСНМ), индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ), индекс соотношения лимфоцитов к скорости оседания эритроцитов (ИЛСОЭ). Средний возраст пациентов, входящих в исследование, составлял $49,3 \pm 8,9$ года.

В ходе работы проводился анализ гематологических показателей периферической крови в процессе лечения: эритроциты, тромбоциты, эозинофилов, лейкоцитов, СОЭ, общего белка, креатинина и мочевины. Исследование клинического анализа крови проводили с помощью гематологического анализатора Hemacomp 10 (Италия). Производился подсчет интегральных гематологических показателей. По общепринятым формулам производился расчет следующих гематологических показателей: ЛИИ, ИСНЛ, ИСНМ, ИСЛЭ, ИЛСОЭ.

Лейкоцитарный индекс интоксикации по формуле Кальф-Калифа (ЛИИ). Норма равна $1,01 \pm 0,06$:

$$\text{ЛИИ} = \frac{(4 \text{миелоциты} + 3 \text{юные} + 2 \text{палочкояд.} + \text{сегментояд.}) \times (\text{плазм.кл.} + 1)}{(\text{лимфоциты} + \text{моноциты}) \times (\text{эозинофилы} + 1)}.$$

Индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов (ИСНЛ), референсные значения составляют $11,83 \pm 1,31$:

$$\text{ИСНЛ} = \frac{\text{нейтрофилы}}{\text{лимфоциты}}.$$

Индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов (ИСНМ), референсные значения составляют $11,83 \pm 1,31$:

$$\text{ИСНМ} = \frac{\text{нейтрофилы}}{\text{моноциты}}.$$

Индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ), референсные значения составляют $8,73 \pm 1,26$:

$$\text{ИСЛЭ} = \frac{\text{лимфоциты}}{\text{эозинофилы}}.$$

Индекс соотношения лейкоцитов и СОЭ (ИЛСОЭ), референсные значения составляют $0,04 \pm 1,32$:

$$\text{ИЛСОЭ} = \frac{\text{лейкоциты} \times \text{СОЭ}}{100}.$$

Статистический анализ полученных результатов выполнен с использованием компьютерных пакетов статистических программ STATISTICA (версия 13.3, «StatSoft», США), EXCEL 2013. Клинико-лабораторное исследование проспективное нерандомизированное. Математическая обработка клинико-лабораторных данных включала проверку нормальности распределения количественных показателей в выборке с использованием критерия Shapiro-Wilk's (W-test). Для попарно связанных вариантов (до – после) достоверность различий оценивали по критерию Уилкоксона. Различия считались статистически значимыми при уровне значимости $p_{(\text{Уилкоксона})} < 0,05$.

Результаты исследования. При сравнительном анализе показателей периферической крови установлено, что до начала лечения общее содержание эритроцитов было $4,25 \times 10^{12}/\text{л}$ [ДИ 3,84; 4,06] у пациентов с туберкулезом находилось в пределах референсных значений ($4,3 \times 10^{12}$ – $5,7 \times 10^{12}$ клеток/л). После лечения данный показатель составил 4,19 [ДИ 3,74; 4,53] и статистически значимо уменьшился в 1,01 раза ($p_{(\text{Уилкоксона})} = 0,0346$).

В группе пациентов общее содержание тромбоцитов было $209 \times 10^9/\text{л}$ [ДИ 176; 294] до лечения находилось в пределах референсных значений (150 – $450 \times 10^9/\text{л}$) с последующим незначительным повышением значения данного параметра $210 \times 10^9/\text{л}$ [ДИ 168; 289] в 0,99 раза ($p_{(\text{Уилкоксона})} > 0,05$). Также у 6 пациентов диагностирован тромбоцитоз до начала терапии. Это обусловлено степенью активности патологического процесса и интоксикации. После терапии данный показатель у пациентов пришел в норму, но лишь у одного наблюдается повышенная динамика тромбоцитов.

Различия в количественном содержании эозинофилов до начала терапии составило 4,25 % [ДИ 3,84; 4,6], что находилось в пределах нормы (1–5 %). После терапии данный показатель 4,19 % [ДИ 3,74; 4,53] незначительно уменьшился в 1,01 раза ($p_{(\text{Уилкоксона})} > 0,05$). Но у 8 пациентов выявлена токсическая зернистость нейтрофилов. Эта зернистость наблюдается при острых воспалительных и нагноительных процессах, и свидетельствует о степени тяжести патологического процесса.

При сравнительном анализе показатель лейкоцитов (норма составляет 4 до 9×10^9 Ед/л) в процессе лечения незначительно уменьшился в 1,07 раза (до начала лечения было $8,64 \times 10^9$ Ед/л [ДИ 5,6; 10], после – $8,02 \times 10^9$ Ед/л [ДИ 7,05; 9,88]) ($p_{(\text{Уилкоксона})} > 0,05$). До начала лечения у 8 пациентов наблюдается лейкоцитоз, что свидетельствует о лейкоцитарной фазе – преодоление инфекции. После терапии показатель постепенно нормализуется.

Также до начала лечения показатель СОЭ составил 8 мм/ч [ДИ 3; 28], что находилось в пределах референсных значений (0–15 мм/ч). После проведения терапии показатель незначительно уменьшился в 1,14 раз и составил 7 мм/ч [ДИ 3; 22] ($p_{(\text{Уилкоксона})} > 0,05$). Также наблюдается повышение данного показателя у 8 пациентов. Ускоренная СОЭ коррелирует не только с активностью и протяженностью текущего свежего процесса, но также с обострением хронических, особенно фиброзно-кавернозных, процессов. Из 8 пациентов у 2 поставлен диагноз фиброзно-кавернозный туберкулез, следовательно, наблюдается обострение процесса. После лечения наблюдается положительная динамика СОЭ.

При сравнительном анализе биохимических показателей установлено, что до начала терапии общее содержание белка у пациентов с туберкулезом находилось в пределах нормы (65 до 85 г/л) и составило 67,5 г/л. После терапии данный показатель составил 66,5 г/л и незначительно уменьшился в 1,01 раза ($p_{(\text{Уилкоксона})} > 0,05$).

Концентрации в крови метаболитов креатинина и мочевины соответственно составило 78 ммоль/л [ДИ 67; 102,2] и 5,68 ммоль/л. [ДИ 4,7; 7,6], что находилось в пределах референсных значений (мочевина – 2,5–8,3 ммоль/л., креатинин – 62–115 ммоль/л). У семи пациентов выявлено повышение креатинина, что свидетельствует об ухудшении работы почек, а именно клубочковой фильтрации. Следует отметить, что у 2 из 7 поставлен диагноз токсическая нефропатия. После терапии уровень креатина и мочевины уменьшился в 1,01 раза 76 ммоль/л [ДИ 67;102,4] и 5,65 ммоль/л [ДИ 4,3; 7,1] ($p_{\text{(Уилкоксона)}} > 0,05$).

Одним из важных патогенетических звеньев в переходе организма на новую ступень неспецифической адаптационной реакции является развитие дисфункции органов естественной детоксикации [27]. Так, в сыворотке крови у пациентов до начала лечения наблюдается уровень общего билирубина 12,6 ммоль/л [ДИ 9,2; 20,6] в пределах нормы (5–20 ммоль/л). Также у двух пациентов есть сопутствующие заболевания печени – вирус гепатита С, что обуславливает повышение общего билирубина. После лечения его содержание составило 13,76 ммоль/л [ДИ 9,5; 20,6] и увеличилось в 0,09 раз ($p_{\text{(Уилкоксона)}} > 0,05$).

В результате исследования был проведен анализ интегральных гематологических показателей пациентов, страдающих туберкулезом. Статистический анализ индексов данных уровня ЛИИ по Кальф–Калифу у пациентов с туберкулезом до лечения составил 16 отн. ед. [ДИ 11; 28], что превышает норму ($1,01 \pm 0,06$ отн. ед.). После завершения терапии данный показатель статистически не значим: составил 19 отн.ед [ДИ 12; 30] и увеличился в 1,13 раз ($p_{\text{(Уилкоксона)}} > 0,05$). По данным проведенного анализа уровня индекса соотношения лейкоцитов к скорости оседания эритроцитов до лечения составил 0,55 отн. ед. [ДИ 0,23; 1,92] находился в пределах референсных значений ($0,04 \pm 1,32$ отн. ед.). После проведенной терапии значение индекса 0,49 отн. ед. [ДИ 0,23; 1,48] уменьшилось в 1,14 раз ($p > 0,05$). В группе пациентов до начала лечения происходит увеличение уровня показателя ИСНЛ 9,04 отн. ед. [ДИ 5,18; 28,50], что выше нормы ($5,78 \pm 0,73$). Это свидетельствует о выраженном воспалительном процессе. После химиотерапии показатель ИСНЛ статистически значимо уменьшился в 11,4 раза ($p = 0,0009$) и составил 2,18 отн. ед. [ДИ 1,59; 1,04] Из этого следует, что проведенная терапия является эффективной и способствовала уменьшению воспалительного процесса.

Индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов у группы пациентов до начала лечения составил 9,64 отн.ед [ДИ 4,62; 20], что значительно превышает норму ($8,73 \pm 19,50$ отн. ед.) и показывает гиперчувствительность замедленного типа. После лечения наблюдается статистически значимое снижение индекса в 1,11 раза ($p = 0,038$) и составляет 8,72 отн. ед. [ДИ 6,00; 16,00]. В результате анализа данных пациентов с туберкулезом уровень индекса соотношения нейтрофилов и моноцитов статистически значимо уменьшился в 1,15 раза ($p = 0,042$). До начала лечения находился выше нормы ($5,78 \pm 0,73$ отн. ед.) 9,04 отн. ед. [ДИ 5,18; 28,50]. После лечения показатель индекса составил 7,82 отн. ед. [ДИ 5,40; 32,00] – соответствует норме. Результат исследования может свидетельствовать об угнетении функций эффекторных звеньев иммунологического процесса.

Заключение. Согласно вышеизложенному, представляется обоснованным заключить, что проведенная терапия оказывает модифицирующее воздействие на клеточный гомеостаз пациентов, страдающих заболеваниями туберкулеза. В ходе проведенного исследования было установлено, что

1. Анализ динамических изменений клеточных показателей периферической крови в ответ на проведенную терапию показал статистически значимые различия ($p_{\text{(Уилкоксона)}} < 0,05$) исследуемых параметров до начала лечения и по окончании терапии у пациентов, страдающих туберкулезом: уменьшением эритроцитов в 1,01 раза,

2. При анализе интегральных показателей у пациентов с туберкулезом снижение ИСНЛ в 11,4 раза, ИСЛЭ в 1,11 раза, ИСНМ в 1,15 раза после проведенной терапии.

Таким образом, по нашим предварительным данным, можно заключить, что индекс соотношения нейтрофилов к лимфоцитам (ИСНЛ), индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ), индекс соотношения нейтрофилов и моноцитов (ИСНМ) наиболее значимо реагируют на изменения в организме, происходящие в результате комбинированной химиотерапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будрицкий, А.М Фтизиопульмонологии / А. М. Будрицкий, Н.В. Василенко, И.В. Кучко// учебное пособие. – Витебск: ВГМУ, 2016. – 30–36 с.
2. Островский, В. К. Показатели крови и лейкоцитарного индекса интоксикации в оценке тяжести и определении прогноза при воспалительных, гнойных и гнойно-деструктивных заболеваниях / В. К. Островский [и др.] // Клин. лаб. диагн. . – Изд. № 6– 2006. – 50–53с.
3. Банзаракшеев, В.Г. Лейкоцитарные индексы как способ оценки эндогенной интоксикации организма / В.Г. Банзаракшеев // Бюллетень ВСНЦ. – 2010. – № 3. – 390–391 с.
4. Greenwoodetal: Medical Microbiology: Guide to Microbial Infections 18th – 2012. – 6–7 S.

ЗАВИСИМОСТЬ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВИРУСНЫМ ИММУНОДЕФИЦИТОМ И ВИРУСНОЙ ЛЕЙКЕМИИ КОШЕК ОТ ПОЛА THE DEPENDENCE ON GENDER OF THE INCIDENCE OF FELINE VIRAL IMMUNODEFICIENCY AND FELINE VIRAL LEUKEMIA

Н. Стату^{1,2}, Я. Мельникова^{1,2}

M. Statsi^{1,2}, Y. Melnikova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ., г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
kaf_immunal@iseu.by, ise.stati@bsu.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Проанализирована распространенность вируса кошачьего иммунодефицита (FIV) и вируса лейкемии кошек (FeLV) в популяциях домашних и бездомных кошек. Изучена эффективность диагностических методов, используемых для детекции вируса кошачьего иммунодефицита (FIV) и вируса лейкемии кошек (FeLV). Установлено, что уровень распространенности вирусных заболеваний кошек, таких как вирус иммунодефицита и вирус лейкемии, зависит от образа жизни, пола, состояния здоровья кошек; диагностика вируса иммунодефицита и вируса лейкемии, зависит от экономического положения страны и коммерческой доступности тест-систем; Широкое распространение вакцинации доказало свою эффективность и возможность предельного снижения рисков заражения. ПЦР является золотым стандартом в диагностике вирусных заболеваний, однако при этом является дорогостоящим методом.

The prevalence of feline immunodeficiency virus (FIV) and feline leukemia virus (FeLV) in the populations of domestic and homeless cats has been analyzed. The effectiveness of diagnostic methods used for the detection of feline immunodeficiency virus (FIV) and feline leukemia virus (FeLV) has been studied. It was found that the level of prevalence of viral diseases of cats, such as the immunodeficiency virus and the leukemia virus, depends on the lifestyle, gender, and health status of cats; the diagnosis of the immunodeficiency virus and the leukemia virus depends on the economic situation of the country and the commercial availability of test systems; Widespread vaccination has proven its effectiveness and the possibility of limiting the risks of infection. PCR is the gold standard in the diagnosis of viral diseases, but it is an expensive method.

Ключевые слова: вирусные заболевания кошек, иммунный ответ, ПЦР, ИФА, микробиологические методы, FIV, FeLV.

Keywords: cat viral diseases, immune response, PCR, ELISA, microbiological methods, FIV, FeLV.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-91-93>

Вирус иммунодефицита кошек (FIV) относится к семейству вирусов *retroviridae* и вызывает синдром приобретенного иммунодефицита (СПИД) у домашних и не домашних кошек во всем мире. Организация генома FIV и клинические характеристики заболевания, вызываемого вирусом, аналогичны таковым у вируса иммунодефицита человека (ВИЧ). Оба вируса поражают Т-лимфоциты, моноциты и макрофаги, и цикл их репликации в инфицированных клетках аналогичен. Благодаря заметному сходству в геномной организации, структуре вируса, репликации вируса и патогенезе заболеваний FIV и ВИЧ, заражение кошек FIV является полезным инструментом для изучения и разработки новых лекарств и вакцин от ВИЧ.

Стратегия репликации вируса подобна ВИЧ и инициируется взаимодействием вирусного гликопротеина Env (gp120) с CD134, молекулой, активируемой на активированных CD4 + Т-клетках. Это взаимодействие обнажает ранее замаскированные эпитопы Env, которые с высокой аффинностью связываются с хемокиновым рецептором CXCR4, что обеспечивает слияние вирусной и клеточной мембраны и последующее проникновение вирусного нуклеокапсида в цитоплазму клетки-хозяина. Связывание gp120 с CD134 и CXCR4 вызывает конформационные изменения в молекуле gp41. В результате обнажается гидрофобный N-концевой домен gp41, который внедряется в мембрану клетки-мишени.

Следовательно, хотя Env FIV не взаимодействует с CD4, первичным рецептором ВИЧ, CD4+. Тем не менее, Т-клетки становятся мишенями из-за использования рецептора с наивысшей экспрессией на CD4 + Т-клетках памяти. Рецептор проникновения вируса, CXCR4, используется как ВИЧ, так и FIV, и, если он присутствует

в высокой плотности, может способствовать проникновению вируса без начального взаимодействия с CD134. (Схематично см. Рис. 1)

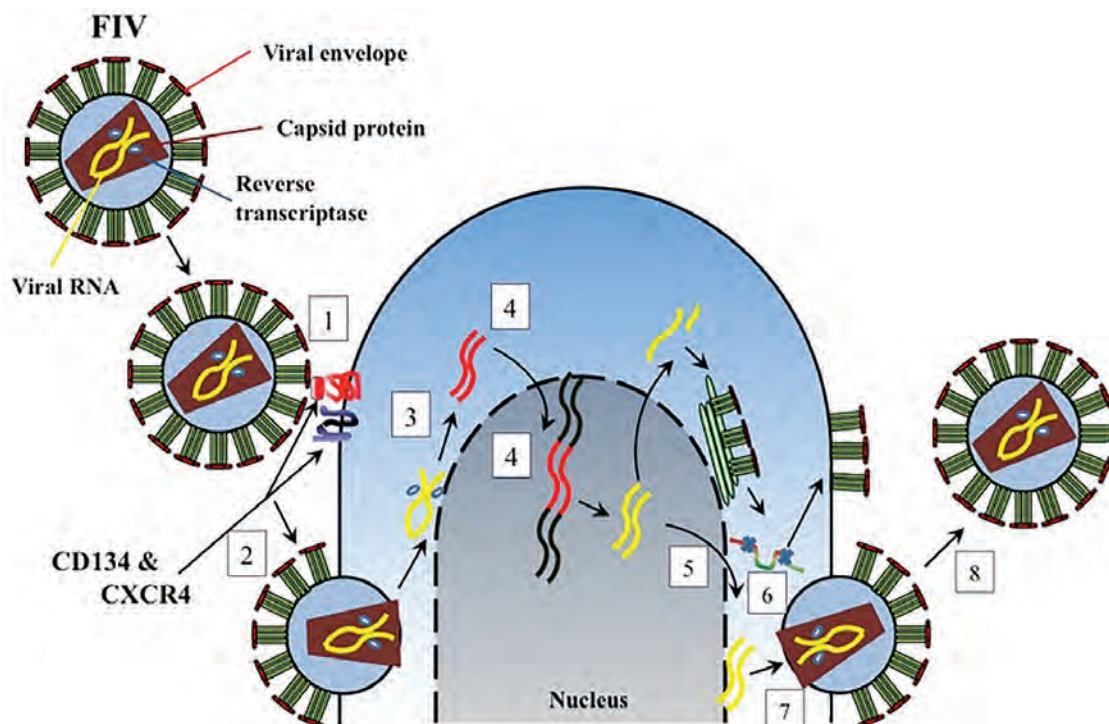


Рисунок 1 – Схема репликации вируса иммунодефицита кошек (FIV) с указанием участков для потенциальной антиретровирусной терапии: (1) Прикрепление вируса к рецепторам клеточной поверхности; (2) Слияние вируса с клеточной мембраной; (3) Обратная транскрипция; (4) Ядерная транслокация и интеграция в геном хозяина; (5) Вирусная транскрипция и ядерный экспорт; (6) Вирусная протеаза и обработка белка; (7) Сборка и созревание вириона; (8) Высвобождение вириона

Лечение вирусных заболеваний весьма трудоемко и не всегда достаточно успешно. Повысить эффективность лечения помогает ранняя диагностика заболевания.

Вirus кошачьего иммунодефицита (FIV) и вирус лейкемии кошек (FeLV) являются важными и распространенными во всем мире заболеваниями семейства кошачьих (как домашних, так и диких кошек).

Обе инфекции связаны с различными клиническими признаками и могут влиять на качество и продолжительность жизни. Исследования, посвященные этим вирусам, являются показательными и полезными для изучения прочих распространенных вирусных инфекций кошек.

Диагностика кошек имеет ключевое значение в принятии мер профилактики и эффективности лечения. Кроме того, у зараженных кошек длительное время могут отсутствовать клинические проявления заболевания, поэтому совершенствование методов диагностики влияет на осведомленность хозяев и своевременность терапии.

Стоит принимать во внимание специфику вируса и диагностическое значение компонентов, непосредственно участвующих в реализации вирусной атаки на организм, а также то, какие виды тестов обладают большей чувствительностью и точностью.

В настоящее время для диагностики вирусных заболеваний широко применяется метод полимеразной цепной реакции (ПЦР), а также иммуноферментный анализ (ИФА) или ELISA (enzyme linked immunosorbent assay). Оба метода имеют свои преимущества. Сравнивая возможности ИФА и ПЦР в диагностике заболеваний, следует отметить, что метод ПЦР не позволяет установить стадию инфекционного процесса. В связи с этим роль ИФА в интерпретации результатов исследования может быть весьма существенной, поскольку данный метод позволяет определить avidность антител. ПЦР является золотым стандартом в диагностике вирусных заболеваний, однако при этом является дорогостоящим методом. В практике имеет место проведение повторного теста на антитела, а также подтверждающее ПЦР исследование. [1]

Вirus иммунодефицита кошек (далее FIV) и вирус лейкемии (далее FeLV) имеют одинаковую структуру. Вирусный генетический материал находится внутри нуклеокапсида и представляет собой две копии одноцепочечной РНК, которую сопровождают ферменты вирусной активности. Нуклеокапсид покрывает капсидно-матричный белковый комплекс и гликопротеиновая оболочка.

Значительную роль в распространении FIV и FeLV играет пол. В прошлом не все исследования демонстрировали четкую корреляцию, однако, на сегодняшний день выявлено, что среди самцов, проявляющих агрессивное поведение, инфицирование происходит заметно чаще (см. Рис. 2 и Рис. 3).

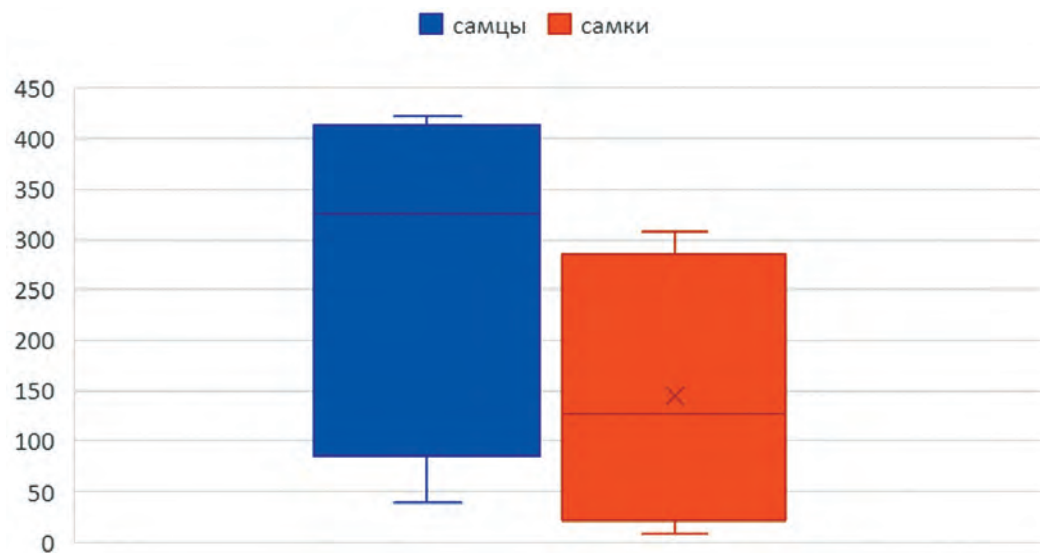


Рисунок 2 – Показатели заболеваемости FIV среди самцов и самок

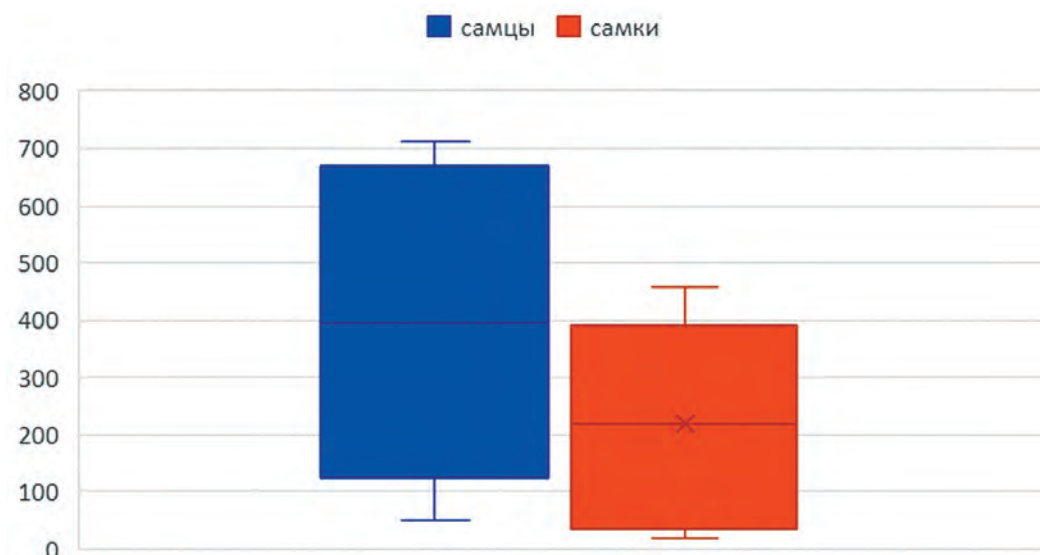


Рисунок 3 – Показатели заболеваемости FeLV среди самцов и самок

Например, интактные самцы в Северной Америке имеют самый высокий риск заражения. Более 8% котов, получающих боевые травмы, оказываются FeLV-позитивными, что значительно выше по сравнению с нормальной популяцией кошек. На основании этого можно сделать вывод о том, что агрессивное поведение, более распространенное у самцов, играет большую роль, чем считалось ранее [2].

По результатам проведенных исследований в соответствии с данными, предоставляемыми научным сообществом, можно сделать вывод, что уровень распространенности вирусных заболеваний кошек, таких как вирус иммунодефицита и вирус лейкемии, зависит от пола.

ЛИТЕРАТУРА

1. Westman, M.E. Diagnosing feline immunodeficiency virus (FIV) and feline leukaemia virus (FeLV) infection: an update for clinicians / M.E. Westman, R. Malik, J.M. Norris // Aust Vet J. 2019. Vol. 97 №3. P. 47–55
2. Gleich, S. E. Prevalence of feline immunodeficiency virus and feline leukaemia virus among client-owned cats and risk factors for infection in Germany / S. E. Gleich, S. Krieger, K. Hartmann // Feline Med Surg. 2009. Vol. 11 №12. P. 985–992.

ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ НА ИММУНОМОДУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК

EFFECT OF HYPOXIA ON IMMUNOMODULATORY PROPERTIES OF MULTIPOTENT MESENCHYMAL STROMAL CELLS

А. В. Свирская^{1,2}, М. А. Яковлева^{1,2}, Д. Б. Нижегородова^{1,2}, М. М. Зафранская^{1,2}
A. Svirskaya^{1,2}, M. Yakauleva^{1,2}, D. Nizheharodava^{1,2}, M. Zafranskaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kaf_immunal@iseu.by, alesjswirskay@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

В данном исследовании охарактеризовано влияние гипоксии на способность мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток человека модулировать митоген-стимулированную пролиферацию мононуклеаров периферической крови, что может использоваться при оптимизации протоколов подготовки биомедицинского клеточного продукта для клеточной терапии патологий, сопровождающихся развитием гипоксии.

This study characterizes the effect of hypoxia on human multipotent mesenchymal stromal cells ability to modulate mitogen-stimulated proliferation of peripheral blood mononuclear cells, what can be used for optimization of biomedical cell products protocols using for cell therapy of pathological conditions accompanied by hypoxia.

Ключевые слова: гипоксия, иммуномодуляция, мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки.

Keywords: hypoxia, immunomodulation, multipotent mesenchymal stromal cells.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-94-97>

Введение. В настоящее время клеточные технологии с использованием биомедицинского клеточного продукта на основе мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК) активно развиваются и уже заняли определенную нишу в регенеративной медицине и клинической практике. Среди основных биологических свойств ММСК выделяют иммуномодуляцию, регенерацию, транскрипционную дифференцировку и направленную миграцию в очаг повреждения, которые на сегодняшний день достаточно хорошо изучены [1]. Однако до сих пор актуальным вопросом остается характеристика *in vitro* функционального потенциала ММСК в условиях гипоксии, которая сопровождает патогенез многих иммунообусловленных болезней и формирует микроокружение, наиболее адекватно воспроизводящее условия *in vivo*, при которых реализуются эффекты ММСК [2]. Окислительный стресс сопровождается повреждением клеток, воспалением и нарушением метаболизма и, следовательно, является ключевым патофизиологическим механизмом многих заболеваний, так как окислительно-восстановительный дисбаланс опосредуется молекулярными компонентами, которые присутствуют во всех живых клетках и выполняют схожие функции.

Влияние концентрации кислорода на морфологию, фенотип, пролиферативную способность и функциональную активность ММСК в литературе описано неоднозначно [1, 3]. Так, до сих пор не установлено, каким образом воздействие окислительного стресса (эндогенно, путем внутриклеточного метаболизма или экзогенно) может изменять состояние ММСК. Известно, что образующиеся активные формы кислорода способны инициировать окисление, а их избыток токсичен из-за выраженной способности взаимодействовать с клеточными молекулами, участвующими в цитотоксичности и мутагенном повреждении. И, наоборот, низкий уровень активных форм кислорода необходим для поддержания клеточной пролиферации, способности к самовосстановлению и регуляции дифференцировки, а также выступает в качестве внутриклеточного сигналинга [2]. Доказательства прямой роли окислительного стресса в иммуномодуляции ММСК отсутствуют. Однако известно, что при экспансии ММСК *ex vivo* пролиферация уменьшается, окислительный стресс усиливается, уровень некоторых поверхностных антигенов снижается, а способность ММСК подавлять пролиферацию Т-клеток уменьшается [1].

Принимая во внимание, что большинство клинических применений ММСК обусловлено их иммуномодулирующими и регенеративными свойствами, высоко актуальным остается изучение ММСК в условиях окислительного стресса при иммунопатологических состояниях, а понимание закономерностей функционирования ММСК при гипоксии может являться основой для последующей разработки специфических методов терапии и прогнозирования исходов заболевания при использовании клеточной терапии.

Цель исследования – оценить влияние гипоксии на иммуномодулирующие свойства ММСК.

Материалы и методы. Культуры ММСК получали от доноров в возрасте от 31 до 45 лет (n=5) путем центрифугирования аспирата костного мозга на градиенте плотности с $\rho=1,077$ (Carl Roth, Германия) и последующего культивирования мононукlearной фракции клеток в культуральной среде DMEM (Gibco™, United Kingdom) с добавлением 10% фетальной бычьей сыворотки (Gibco, Бразилия), 1% L-глутамина (Gibco, США), 1% смеси антибиотиков и антимикотика (Gibco, Германия). После получения 1-го пассажа ММСК клетки помещали в условия газовой гипоксии (1-2% O₂) с использованием микробиологического набора Anaerocult A® mini (Millipore, Германия) в течение 72 часов при 37°C. Контрольные культуры ММСК культивировали в условиях нормоксии в CO₂-инкубаторе (5% CO₂) при 37°C. Морфологию культур оценивали с помощью инвертированного фазово-контрастного микроскопа Nikon Ti2-LAPP System (Nikon, Япония).

Мононуклеары периферической крови (МПК) доноров выделяли из гепаринизированной венозной крови доноров (n=5) на градиенте плотности с $\rho=1,077$, окрашивали карбоксифлуоресцеином (CFSE) (Sigma, Германия) и культивировали в концентрации 2×10^5 клеток/лунку в 96-луночной планшете в культуральной среде RPMI-1640 (Lonza, Швейцария), содержащей 10% фетальной бычьей сыворотки, 1% L-глутамина и 1% смесь антибиотика и антимикотика в присутствии 2,5 мкг/мл фитогемагглютинаина (ФГА). К культурам МПК добавляли культуры ММСК в концентрации 2×10^4 клеток/лунку, предварительно культивируемыми в условиях гипоксии и нормоксии. Количество пролиферирующих CD3+T-клеток регистрировали на 6 сутки после окрашивания ко-культур моноклональными антителами CD3-PC7 с помощью проточного цитометра CytoFLEX (Beckman Coulter, США).

Статистическую обработку данных проводили с использованием STATISTICA 8.0. Для представления полученных данных использовали показатели медианы, нижнего и верхнего квартилей (25-й÷75-й процентиля). Для сравнения групп использовали непараметрический критерий Вилкоксона. За уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$.

Результаты. Морфологические особенности ММСК после 24, 48 и 72 часов культивирования в условиях нормоксии и гипоксии представлены на рисунке 1. Установлено, что большинство ММСК сохраняли свою нормальную веретенообразную или полигональную фибробластоподобную форму с большим ядром и обильной цитоплазмой в условиях нормоксии (рисунок 1А-1В). При культивировании в условиях гипоксии ММСК характеризовались неправильной уплощенной, округлой или многоугольной геометрией и увеличенным размером и были склонны к формированию пустых зон, что может быть связано с потерей молекул адгезии (рисунок 1Г-1Е).

ММСК морфологически характеризовались небольшими размерами с несколькими длинными и тонкими клеточными отростками. Клетки содержали большое круглое ядро с выступающим ядрышком, которое окружено мелкодисперсными частицами хроматина, придающими ядру четкий внешний вид. Остальная часть клетки содержала небольшое количество комплекса Гольджи, шероховатый эндоплазматический ретикулум, митохондрии и полирибосомы.

ММСК на пластиковой поверхности достигали конfluenceности через 5-7 дней при нормальном содержании кислорода, в то время как при гипоксии скорость роста ММСК возрастала и усиливалось колониеобразование. Кроме того, снижение уровня кислорода способствовало повышению жизнеспособности ММСК. После покрытия всей площади чашки они начинали расти в несколько слоев, меняли свою форму, сплющивались, и становились видны их многочисленные ветви.

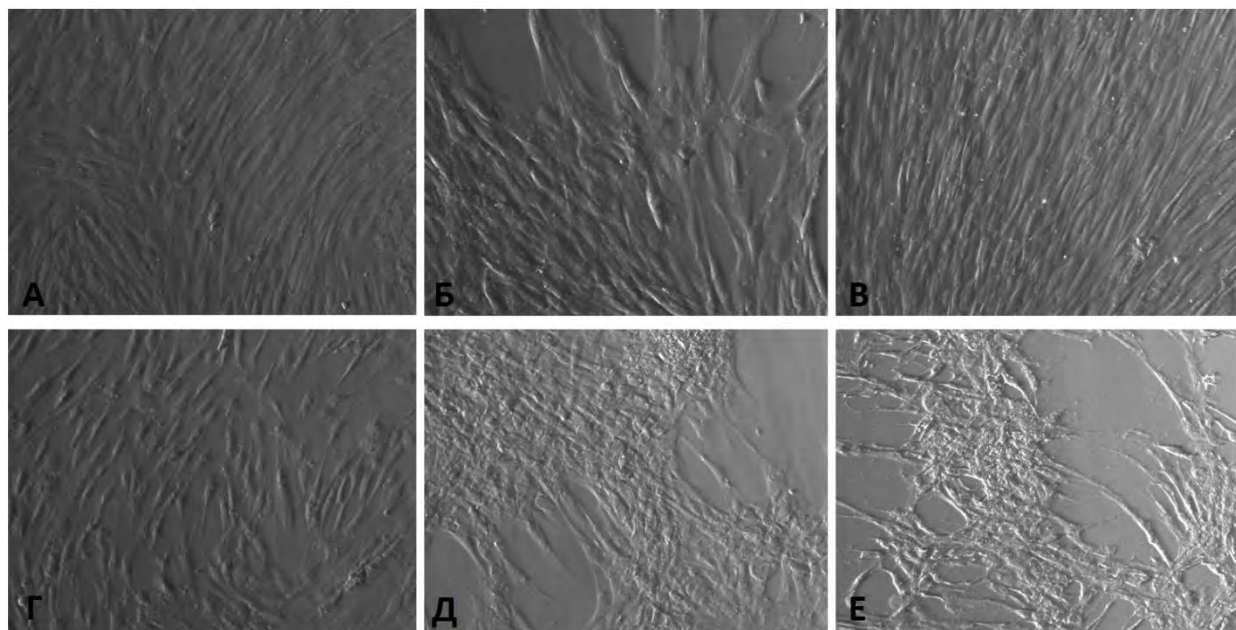


Рисунок 1 – Морфология ММСК в условиях нормоксии (А – 24 ч, Б – 48 ч, В – 72 ч) и гипоксии (Г – 24 ч, Д – 48 ч, Е – 72 ч)

Иммуномодулирующий эффект оценивался на *in vitro* модели совместного культивирования ММСК с митоген-стимулированными МПК с последующей характеристикой способности ММСК супрессировать пролиферацию Т-лимфоцитов. Показано, что в присутствии митогена количество клеток увеличивалось с $2,0 \times 10^5$ до $2,8 \times 10^5$. Установлено, что добавление ММСК, культивируемых в условиях гипоксии, в культуры МПК приводило к статистически значимому снижению количества поделившихся клеток в ответ на ФГА в 2 раза (рисунок 2), что подтверждает иммуносупрессирующие свойства ММСК.

Согласно литературным данным ММСК оказывают мощное иммуномодулирующее действие на широкий спектр иммунных клеток, как врожденной, так и адаптивной иммунной системы в условиях нормального содержания кислорода. Известно, что ММСК способны подавлять *in vitro* активацию и пролиферацию Т-лимфоцитов, индуцированную аллоантигенами, митогенами, а также антителами CD3 и CD28, а также обладают антиапоптотической активностью относительно нестимулированных Т-клеток, что связано с супрессированием взаимодействия Fas-рецептора и Fas-лиганда и ингибированием эндогенных протеаз, участвующих в гибели клеток. ММСК также ингибируют цитотоксические эффекты антиген-праймированных цитотоксических Т-клеток (CTLs), что может быть связано с подавлением пролиферации CTLs, а не с прямым ингибированием цитолитической активности. Уменьшение пролиферации Т-клеток зависит от остановки клеточного цикла в фазе G0/G1. Кроме того, идентифицировано несколько мембраносвязанных и растворимых молекул (простагландин E2, трансформирующий фактор роста- β , индоламин 2,3-диоксигеназа, растворимый HLA-G, оксид азота, фактор роста печени, интерлейкин-10, лиганд запрограммированной гибели 1), которые способствуют опосредованному ММСК ингибированию активации и пролиферации Т-клеток [1].

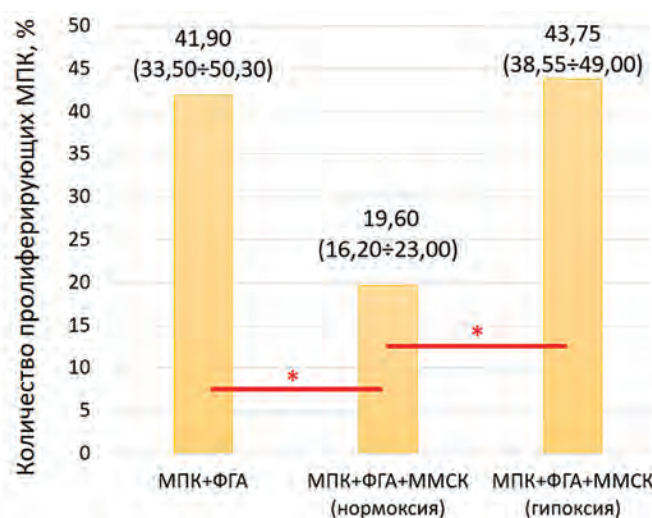


Рисунок 2 – Количество митоген-стимулированных МПК в ко-культурах с ММСК, предварительно культивируемых в условиях нормоксии или гипоксии

Примечание. МПК – мононуклеары периферической крови, ФГА – фитогемагглютинин, ММСК – мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки, * – $p < 0,05$.

В то же время культивирование митоген-стимулированных МПК в присутствии гипоксических ММСК не оказывало выраженного влияния на пролиферацию Т-лимфоцитов, уровень которой был сопоставим с таковой в культуре без ММСК (рисунок 2). Полученные результаты в данном пилотном эксперименте не согласуются с результатами Rodriguez L.A., продемонстрировавшим, что предварительное кондиционирование (культивирование в условиях гипоксии) значительно усиливало иммуносупрессивную функцию ММСК. Отсутствие иммуносупрессивного эффекта ММСК при дефиците кислорода может быть связано с активацией генов, отвечающих за метаболическую активность, инициацию процессов синтеза молекул, обеспечивающих антиоксидантный и регенеративный потенциал клеток, и начало процесса дифференцировки клеток. Некоторые авторы подтверждают, что при гипоксии наблюдается усиление экспрессии генов фактора роста эндотелия сосудов (VEGF), играющих центральную роль в формировании новых кровеносных сосудов, и каталазы (CAT), участвующих в защите клеток от активных форм кислорода [1]. Предварительное кондиционирование ММСК в условиях гипоксии влияет на их активационный потенциал за счет усиления регуляции амфотерина (HMGB-1) и его рецептора толл-подобного рецептора 4 (TLR-4), которые опосредуют реакцию ММСК на повреждение, а также продукцию ими цитокинов. Дефицит кислорода вызывает синтез гена-6, стимулируемый фактором некроза опухоли (TSG-6), играющий важную роль в терапевтической способности ММСК устранять повреждение и стерильное воспаление, а также станниокальцин-1 (STC-1), опосредующий снижение окислительного стресса, разрешение фиброза, а также ослабление воспалительной реакции моноцитов и макрофагов [1].

Заключение. Условия нормоксии и гипоксии по-разному влияют на иммуномодулирующие свойства ММСК: при нормоксии наблюдается иммуносупрессия МПК, а при гипоксии активация метаболической активности, что

необходимо учитывать при подготовке биомедицинского клеточного продукта на основе ММСК для клеточной терапии иммунообусловленных болезней, сопровождающихся гипоксическими состояниями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rodriguez, L.A.* Preconditioning in an Inflammatory Milieu Augments the Immunotherapeutic Function of Mesenchymal Stromal Cells / L.A. Rodriguez [et al.] // *Cells*. 2019. № 462. P. 1 – 31.
2. *Song, N.* Mesenchymal Stem Cell Immunomodulation: Mechanisms and Therapeutic potential / N. Song [et al.] // *Trends Pharmacol Sci*. 2020. № 9. P. 653 – 664.
3. *Khan, R.S.* A Comparison of Phenotypic and Functional Properties of Mesenchymal Stromal Cells and Multipotent Adult Progenitor Cells / R.S. Khan, P.N. Newsome // *Frontiers in Immunology*. 2019. № 10. P. 1 – 16.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛЕТОЧНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ГОМЕОСТАЗА НА ПРОВЕДЕНИЕ ТЕРАПИИ У ПАЦИЕНТОВ С ИНСУЛЬТОМ EVALUATION OF INDICATORS OF CELLULAR REACTIVITY OF HOMEOSTASIS FOR THERAPY IN STROKE PATIENTS

А. А. Криштопенко^{1,2}, Е. М. Шпадарук^{1,2}, Р. М. Смолякова^{1,2}
A. Krishtopenko^{1,2}, E. Shpadaruk^{1,2}, R. Smolyakova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus
katsiaryna.shpadaruk@iseu.by, emmat.g.k@icloud.com

В данном исследовании была изучена реактивность организма 75 пациентов с инсультом по динамическим изменениям показателей периферической крови и интегральных индексов эндогенной интоксикации до и после проведения лечения. Результаты исследования показали, что содержание эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов, эозинофилов, нейтрофилов, а также гематокрит являются наиболее чувствительными к лечению. По нашим данным, наиболее чувствительным и высокоинформативными являются интегральные показатели – СОЭ, ИСЛ, ИЛСОЭ, ИСНЛ, ЛИИ, которые могут иметь высокую значимость в оценке эффективности проводимой терапии у пациентов, страдающие инсультом.

In this study, the reactivity of the body of stroke 75 patients was studied by dynamic changes in peripheral blood parameters and integral indices of endogenous intoxication before and after treatment. The results of the study showed that the content of erythrocytes, hemoglobin, leukocytes, eosinophils, neutrophils, as well as hematocrit are the most sensitive to treatment. According to our data, the most sensitive and highly informative are integral indicators – ESR, IRL, IRLM, ILRES, IRNL, LII, which may be of high importance in assessing the effectiveness of therapy in patients suffering from stroke.

Ключевые слова: показатели периферической крови, интегральные индексы, эритроциты, гемоглобин, лейкоциты, эозинофилы, нейтрофилы, гематокрит, СОЭ, ИСЛ, ИСЛМ, ИЛСОЭ, ИСНЛ, ЛИИ.

Keywords: peripheral blood indices, integral indices, erythrocytes, hemoglobin, leukocytes, eosinophils, neutrophils, hematocrit, ESR, IRL, IRLM, ILRES, IRNL, LII.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-97-100>

Инсульт является тяжелым патологическим процессом, влияющим на ряд патофизиологических состояний, включающих тромбоз, кровоизлияние и эмболию. С возрастом инсульты происходят чаще: в 50–60 лет частота острых нарушений мозгового кровообращения, перешедших в инсульт составляет 7,4, а в 60–69 лет – около 20,0 случаев на 1000 населения [1–2].

Благодаря общему анализу крови можно выявить наличие воспалительных процессов в организме пациента, а также зафиксировать изменения числа эритроцитов, лейкоцитов, нейтрофилов и т.д. Интегральные индексы интоксикации, в свою очередь, выступают как критерии оценки тяжести течения эндогенной интоксикации, её осложнения и эффективности проведенного лечения.

Ишемический и геморрагический инсульт на сегодня представляет собой важнейшую медико-социальную проблему вследствие того, что они занимают первое место среди причин инвалидизации и смертности среди населения во всем мире [3].

Геморрагический инсульт – это кровоизлияние в вещество мозга (паренхиматозное) и под оболочки мозга (соответственно субарахноидальное, субдуральное или эпидуральное) или повреждение структур головного мозга вследствие диапедезного кровоизлияния (геморрагического пропитывания).

Ишемический инсульт – это инфаркт головного мозга. Он возникает при недостаточном поступлении кислорода в нервные ткани и сопровождается церебральной симптоматикой. До 85% случаев инсульта относятся именно к этому типу. У пациента наблюдаются острые головные боли, тошнота и головокружение, нарушение координации движений, возможны обмороки. Одно из типичных проявлений – это несимметричные движения лицевых мускулов, искаженная мимика. Симптомы могут проявляться резко или нарастать постепенно.

В исследование было включено 75 пациентов с инсультом. Объектом исследования послужили клинические данные о пациентах в среднем возрасте 69 лет ДИ [59; 80], находившиеся на лечении в УЗ «Городская больница скорой помощи г. Минска». Распределение по полу составило: мужчин – 36 (48 %), женщин – 39 (52 %). По распределению пациентов в зависимости от вида инсульта, пациенты разделились следующим образом: ишемический инсульт – 35 (46 %), геморрагический инсульт – 40 (54 %). Предметом исследования являются показатели периферической крови и индексы эндогенной интоксикации до начала лечения, после завершения терапии.

В ходе работы проведен анализ гематологических показателей периферической крови: эритроцитов, гемоглобина, гематокрит, лейкоцитов, тромбоцитов, скорости оседания эритроцитов (СОЭ), лимфоцитов, базофилов, эозинофилов, нейтрофилов сегментоядерных, моноцитов. Также был проведен подсчет интегральных гематологических показателей: индекс соотношения сегментоядерных нейтрофилов к лимфоцитам (ИСЛ), индекс соотношения лимфоцитов к моноцитам (ИСЛМ), индекс соотношения лимфоцитов к скорости оседания эритроцитов (ИЛСОЭ), индекс соотношения нейтрофилов к лимфоцитам (ИСНЛ), лейкоцитарный индекс интоксикации (ЛИИ). В ходе работы были использованы лабораторный и статистические методы исследования. Гематологическое исследование проводили на анализаторе Hemacom 10 (Италия). Статистический анализ полученных результатов выполнен с использованием компьютерных пакетов статистических программ STATISTICA (версия 13.3, «StatSoft», США), EXCEL 2013. Лечение пациентов с инсультом проводилось при помощи следующих медикаментов: ацетилсалициловая кислота, дипиридамол, тиклопидин, клопидогрель, пентоксифиллин, винпоцетин, ницерголин, инстенон, аминифиллин, вазобрал, циннаризин, эналаприл, лабеталол, допамин, инфузионная терапия, атенолол, биспролол, магния сульфат, парацетамол, уросептики, антибактериальная терапия, лазикс, инфузии солевых растворов, маннитол, раствор альбуминов, элениум, галоперидол, тиопентал, церукал.

В данном исследовании была проведена оценка клеточной реактивности периферической крови организма пациентов с геморрагическим инсультом. При анализе данных установлено, что до начала лечения общее содержание эритроцитов составило $4,995 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,68; 5,185] – находилось в пределах нормы, однако у 45 % выявлен эритроцитоз (референсные значения $3,9-5,0 \times 10^{12}$ л); после проведения специфической терапии данный показатель статистически значимо снизился в 1,058 раза ($p_{\text{(Уилкоксона)}} = 0,00001$) и составил $4,72 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,51; 5,02]. При анализе общего содержания гемоглобина в ходе проведенной терапии было установлено статистически значимое снижение данного показателя в 1,062 раза ($p_{\text{(Уилкоксона)}} = 0,00002$), до начала лечения – 144,5 г/л [ДИ 135; 149,5], после – 136 г/л [ДИ 126,5; 141]. Данные показатели находились в пределах нормы (референсные значения: 130–170 г/л). В ходе исследования содержание гематокрита, было отмечено, что до начала лечения содержание показателя составило 41,15% [ДИ 0,434; 44,1] – находилось в пределах нормы, но у 7,5% пациентов был обнаружен пониженный гематокрит (референсные значения 37–47%). После завершения лечения у пациентов данный показатель увеличился в 1,007 раз, составил 41,45% [ДИ 39,65; 43] и находился в норме. Между показателями гематокрита до начала лечение и после окончания имеют статистически значимые различия ($p_{\text{(Уилкоксона)}} = 0,040$). При анализе данных была изучена динамика лейкоцитов у пациентов с инсультом: до начала лечения – $9,14 \times 10^9$ л [ДИ 6,69; 11,52], показатель выше нормы, у 50% пациентов выявлен лейкоцитоз (референсные значения $4-9 \times 10^9$ л), после – $8,55 \times 10^9$ л [ДИ 7,05; 10,18], находился в пределах нормы. При завершении терапии статистически значимый показатель снизился в 1,068 раза ($p_{\text{(Уилкоксона)}} = 0,016$). При анализе содержания тромбоцитов у пациентов с инсультом было установлено, что до начала лечения содержание данного показателя составило $187,5 \times 10^9$ л [ДИ 149,5; 220], однако у 37,5% пациентов была обнаружена тромбоцитопения; после – 204×10^9 л [ДИ 160,5; 228]. Данные показатели находились в норме ($180-320 \times 10^9$ л). После завершения лечения статистический показатель увеличился в 1,088 раза ($p_{\text{(Уилкоксона)}} = 0,086$). В результате проведения исследования была изучена динамика показателя СОЭ. До начала лечения уровень СОЭ составил 19,5 мм/ч [ДИ 13; 28] и находился выше нормы у 72,5% пациентов (норма 3–14 мм/ч). После завершения терапии данный показатель снизился в 1,083 раза, составил 18 мм/ч [ДИ 12; 23,5] и находился выше нормы у 55 % пациентов. Статистически значимых различий нет ($p_{\text{(Уилкоксона)}} = 0,726$). В результате проведения анализа было изучено общее содержание лимфоцитов. До начала лечения относительное содержание составило 21,46 % [ДИ 19,2; 29,3], после – 23,9% [ДИ 18,7; 38,4]. Данные показатели находились в пределах нормы (19–37 %). После завершения терапии данный показатель увеличился в 1,113 раза ($p_{\text{(Уилкоксона)}} = 0,747$). В ходе проведения анализа была изучена динамика базофилов. До начала лечения показатель составил 0,65 % [ДИ 0,3; 1,0] – находился в пределах нормы (референсные значения: 0–1 %). После завершения терапии данный показатель снизился в 1,083 раза и составил 0,6 % [ДИ 0,4; 0,95] и находился в норме. Статистически значимых

различий нет ($p_{(Уилкоксона)}=0,759$). В ходе проведения анализа была изучена динамика эозинофилов. До начала лечения показатель составил 1,1 % [ДИ 0,5; 2] – находился в пределах нормы (референсные значения 0–5%). После завершения терапии данный показатель незначительно ($p_{(Уилкоксона)}=0,09$) увеличился в 1,318 раз и составил 1,45 % [ДИ 0,9; 2,2] и находился в норме. При анализе относительного содержания нейтрофилов у пациентов с инсультом было установлено, что до начала лечения содержание данного показателя составило 67,9 % [ДИ 67,9; 77,4] и находился в пределах нормы (референсные значения 47–72%). После завершения лечения у пациентов данный показатель статистически значимо ($p_{(Уилкоксона)}=0,00003$) снизился в 1,219 раза и составил 55,7% [ДИ 49,1; 65,6]. В результате проведения исследования была изучена динамика относительного содержания моноцитов. До начала лечения данный показатель составил 6,4 % [ДИ 4,9; 12,5] – находился в пределах нормы (3–11 %). После завершения терапии данный показатель увеличился в 1,437 раза и составил 9,2 % [ДИ 7,05; 11]. Статистически значимых различий до и после проведения терапии не было выявлено ($p_{(Уилкоксона)}=0,169$).

В ходе работы была проведена оценка клеточной реактивности организма пациентов с ишемическим инсультом. В результате проведенного исследования была изучена динамика эритроцитов до начала лечения и после окончания. До начала лечения содержание показателя составило $4,69 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,36; 5,02]. После проведения специфической терапии общее содержание эритроцитов статистически значимо ($p_{(Уилкоксона)}=0,000038$) снизилось в 1,054 раза и составило $4,45 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,25; 4,79]. Показатели находились в пределах нормы. При анализе содержания гемоглобина у пациентов с ишемическим инсультом было установлено, что до начала лечения содержание показателя составило 141 г/л [ДИ 133; 150]. После завершения лечения у пациентов данный показатель статистически значимо снизился ($p_{(Уилкоксона)}=0,000001$) в 1,068 раза, составил 132 г/л [ДИ 122; 140]. Показатели находились в пределах нормы, но у 37,5 % пациентов после лечения выявили низкий уровень гемоглобина, что может свидетельствовать о наличии кровопотерь. В ходе исследования содержание гематокрита у пациентов с инсультом было отмечено, что до начала лечения содержание данного показателя составило 40,3 % [ДИ 0,684; 42,3] – находился в ниже нормы у 10% пациентов, что может свидетельствовать об анемии. После завершения лечения у пациентов данный показатель снизился в 1,036 раз и составил 38,9 % [ДИ 37,1; 41,6] и находился в норме, что говорит об оптимально подобранной тактике лечения. Между показателями гематокрита до начала лечения и после окончания не выявлено статистически значимых различий ($p_{(Уилкоксона)}=0,844$). При анализе динамики общего содержания лейкоцитов установлено, что до начала лечения показатель составил $10,51 \times 10^9$ л [ДИ 8,56; 14] и находился выше нормы, что может говорить о различных инфекционных, аутоиммунных и хронических заболеваниях. У 47,5 % пациентов выявлен лейкоцитоз. После завершения терапии данный показатель статистически значимо ($p_{(Уилкоксона)}=0,000012$) снизился в 1,22 раза и составил $8,6 \times 10^9$ л [ДИ 5,89; 9,5], и находился в пределах нормы, что говорит о выполненной терапии в оптимальном объеме. При анализе общего содержания тромбоцитов у пациентов с инсультом было установлено, что до начала лечения содержание показателя составило 175×10^9 л [ДИ 149; 209] и находился ниже нормы, тромбоцитопения детектирована у 50 % пациентов. После завершения лечения у пациентов данный показатель незначительно ($p_{(Уилкоксона)}=0,915$) увеличился в 1,011 раза и составил 177×10^9 л [ДИ 155; 203], находился ниже нормы, тромбоцитопения диагностирована у 47,5 % пациентов. В результате проведенного исследования была изучена динамика уровня СОЭ. До начала лечения показатель составил 15 мм/ч [ДИ 7; 29], у 50% пациентов данный параметр был выше нормы. После завершения терапии данный показатель незначительно ($p_{(Уилкоксона)}=0,749$) снизился в 1,071 раза, находился на верхней границе нормы и составил 14 мм/ч [ДИ 7; 26]. В ходе исследования было изучено общее содержание лимфоцитов. До начала лечения показатель составил 21,4% [ДИ 17,6; 45] и находился выше нормы, у 17,5 % пациентов выявлен лимфоцитоз. После завершения терапии данный показатель незначительно ($p_{(Уилкоксона)}=0,101$) увеличился в 1,13 раза составил 24,2 % [ДИ 20,1; 44,4] и находился выше нормы, лимфоцитоз детектирован у 17,5% пациентов. Анализ динамики относительного содержания базофилов показал, что до начала лечения показатель составил 0,6 % [ДИ 0,4; 0,8] и находился в пределах нормы, после завершения терапии данный показатель статистически не значимо ($p_{(Уилкоксона)}=0,776$) снизился в 1,2 раза, составил 0,5% [ДИ 0,3; 1]. При изучении динамика относительного содержания эозинофилов установлено, что до начала лечения показатель составил 1 % [ДИ 0,3; 1,8], после завершения терапии данный показатель статистически значимо увеличился ($p_{(Уилкоксона)}=0,0009$) в 2,0 раза и составил 2 % [ДИ 1; 2,8], что соответствовало референсным значениям. При анализе относительного содержания нейтрофилов у пациентов с ишемическим инсультом было установлено, что до начала лечения содержание показателя составило 70,8 % [ДИ 64,2; 78,5], у 35 % пациентов выявлен нейтрофилез. После завершения лечения у пациентов данный показатель статистически значимо ($p_{(Уилкоксона)}=0,0004$) снизился в 1,266 раза, составил 55,9 % [ДИ 47,8; 64,5]. Показатели находились в норме. До начала лечения относительное содержание моноцитов составляло 5,8 % [ДИ 4,4; 9,4]. После завершения терапии данный показатель незначительно ($p_{(Уилкоксона)}=0,831$) увеличился в 1,172 раза и составил 6,8% [ДИ 5; 11]. Исследуемые показатели в ходе терапии находились в норме.

В результате исследования был проведен анализ динамики уровня интегральных гематологических показателей пациентов, страдающих геморрагическим инсультом. Статистический анализ данных параметра ЛИИ по Кальф-Калифу у пациентов в процессе лечения показал статистически значимое ($p_{(Уилкоксона)}=0,0003$) снижение данного показателя в 1,52 раза (до начала лечения – 2,28 отн. ед. [ДИ 1,65; 2,94], после – 1,50 отн. ед. [ДИ 1,09; 2,22]). При анализе полученных данных уровня ИСЛ установлено, что до начала лечения показания данного индекса составило 2,28 отн. ед. [ДИ 1,65; 2,94]. После завершения терапии данный индекс статистически значимо снизился в 1,518 раза ($p_{(Уилкоксона)}=0,0003$) и составил 1,50 отн. ед. [ДИ 1,09; 2,22]. В результате исследования был

проведен статистический анализ данных `уровня ИЛСОЭ. До начала лечения показатель составил 2,23 отн. ед. [ДИ 1,02; 2,60], после завершения терапии данный показатель незначительно ($p_{(Уилкоксона)}=0,106$) снизился в 1,491 раза и составил 1,50 отн. ед. [ДИ 0,98; 2,10]. Анализ данных параметра ИСНЛ у пациентов в процессе лечения показал статистически значимое снижение ($p_{(Уилкоксона)}=0,001$) данного показателя в 1,541 раза (до начала лечения составил 3,17 отн.ед. [ДИ 2,28; 3,76], после проведенной терапии – 2,06 отн. ед. [ДИ 1,33; 3,24]). Статистический анализ данных уровня ИСЛМ у пациентов в процессе лечения показал незначительное ($p_{(Уилкоксона)}=0,282$) снижение данного показателя в 1,278 раза. До начала лечения уровень данного индекса составил 3,63 отн. ед. [ДИ 1,47; 5,58], после проведенной специфической терапии – 2,84 отн. ед. [ДИ 2,05; 4,31].

Анализ уровня интегральных гематологических показателей эндогенных интоксикации показал, что анализ данных ЛИИ Кальф-Калифу у пациентов с ишемическим инсультом в процессе лечения показал статистически значимое снижение данного показателя в 1,41 раза ($p_{(Уилкоксона)}=0,001$). До начала лечения – 2,22 отн. ед. [ДИ 1,05; 3,43] был значительно выше нормы (референсные значения 0,3–1,5 отн. ед.), что может свидетельствовать об уровне активности распада ткани и интоксикации, после – 1,57 отн. ед. [ДИ 1,08; 1,94] стремился к нормальному уровню. При анализе данных уровня ИСЛ в ходе терапии было установлено, что до начала лечения индекс составил 2,22 отн. ед. [ДИ 1,05; 3,42], после – статистически значимо снизился в 1,41 раза ($p_{(Уилкоксона)}=0,001$) и составил 1,58 отн. ед. [ДИ 1,08; 1,94]. Анализ данных уровня ИЛСОЭ до начала лечения показал 1,96 отн. ед. [ДИ 1,03; 3,0], а после завершения терапии данный показатель статистически значимо снизился ($p_{(Уилкоксона)}=0,022$). В 1,516 раза и составил 1,29 отн. ед. [ДИ 0,66; 2,04]. При статистическом анализе данных уровня ИСНЛ у пациентов в процессе лечения выявлено значимое ($p_{(Уилкоксона)}=0,001$) снижение данного показателя в 1,52 раза. До начала лечения ИСНЛ составил 3,07 отн. ед. [ДИ 1,4; 4,25] был выше нормального уровня (референсные значения $2,47 \pm 0,65$ отн. ед.), что свидетельствует о реакции специфической и неспецифической защиты, после проведенной терапии составил 2,03 отн. ед. [ДИ 1,28; 2,82] и снижался к нормальному уровню, что говорит о правильном лечении. В процессе лечения в периферической крови исследуемой группы пациентов детектировано незначительное ($p_{(Уилкоксона)}=0,555$) снижение уровня ИСЛМ в 1,072 раза. До начала лечения индекс составил 3,41 [ДИ 1,06; 6,72], после проведенной терапии – 3,18 отн. ед. [ДИ 1,89; 11,29].

При сравнительном анализе данных пациентов с геморрагическим и ишемическим инсультом клеточных показателей периферической крови и интегральных гематологических индексов эндогенных интоксикации между двумя исследуемыми группами выявлены статистически значимые различия по следующим показателям: эритроциты до начала лечения у пациентов с геморрагическим инсультом составляли $4,995 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,68; 5,185], были выше чем у пациентов с ишемическим инсультом в 1,06 раза и составляли $4,69 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,36; 5,02] ($p_{(Манна-Уитни)}=0,063$), после проведенного лечения у пациентов с геморрагическим инсультом составляет $4,72 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,51; 5,02], показатель был выше чем у пациентов с ишемическим инсультом в 1,06 раза и составил $4,45 \times 10^{12}$ л [ДИ 4,25; 4,79] ($p_{(Манна-Уитни)}=0,044$); гематокрит после проведенного лечения у пациентов с геморрагическим инсультом составлял 41,45 % [ДИ 39,65; 43], был выше чем у пациентов с ишемическим инсультом в 1,06 раза и составил 38,9% [ДИ 37,1; 41,6] ($p_{(Манна-Уитни)}=0,003$); лейкоциты до начала лечения у пациентов с геморрагическим инсультом составили $9,14 \times 10^9$ л [ДИ 6,69; 11,52], были ниже в 1,15 раза чем у пациентов с ишемическим инсультом составили $10,51 \times 10^9$ л [ДИ 8,56; 14] ($p_{(Манна-Уитни)}=0,051$); тромбоциты после проведенного лечения у пациентов с геморрагическим инсультом составили 204×10^9 л [ДИ 160,5; 228], были выше чем у пациентов с ишемическим инсультом в 1,15 раза и составили 177×10^9 л [ДИ 155; 203] ($p_{(Манна-Уитни)}=0,081$); эозинофилы после проведенного лечения у пациентов с геморрагическим инсультом составили 1,45 % [ДИ 0,9; 2,2], показатель был ниже чем у пациентов с ишемическим инсультом в 1,38 раза и составил 2 % [ДИ 1; 2,8] ($p_{(Манна-Уитни)}=0,085$); моноциты после проведенного лечения у пациентов с геморрагическим инсультом составили 9,2 % [ДИ 7,05; 11], показатель выше чем у пациентов с ишемическим инсультом в 1,35 раза и составил 6,8 % [ДИ 5; 11] ($p_{(Манна-Уитни)}=0,015$). Между остальными показателями статистически значимых различий не выявлено.

Таким образом, по полученным данным можно сделать вывод, что наиболее чувствительные к лечению, у пациентов с инсультом, являются следующие элементы крови: эритроциты, гемоглобин, гематокрит, лейкоциты, тромбоциты, эозинофилы и моноциты. Оценка данных показателей важна для выявления и лечения пациентов с инсультом. А при статистическом анализе наиболее чувствительными и высокоинформативными являются интегральные показатели – ИСЛ, ИСНЛ, ЛИИ, ИЛСОЭ которые могут иметь высокую значимость в оценке эффективности проводимой терапии у пациентов, страдающие инсультом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев, Е. И. Ишемия головного мозга / Е. И. Гусев, В. И. Скворцова. // М.: Медицина. 2001. – 327 с.
2. Скворцова, В. И. Медицинская и социальная значимость проблемы инсульта // Качество жизни. Медицина. 2004. – № 4 (7). – С. 2–6.
3. Борисов, А. В. Иммунологические факторы в патогенезе и прогнозировании инсульта / А. В. Борисов // М.: LAP Lambert Academic Publishing. 2013. – 292 с.

ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОЯДЕР В БУККАЛЬНОМ ЭПИТЕЛИИ КУРЯЩИХ ЛЮДЕЙ DETECTION OF MICRONUCLEI IN THE BUCCAL EPITHELIUM OF SMOKERS

A. A. Савицкий^{1,2}, Ю. В. Малиновская^{1,2}

A. A. Savitsky^{1,2}, Y. V. Malinovskaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
gebeg@iseu.by, Savitsky.A.A.00@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В данной работе была проведена оценка влияния на формирование микроядер таких факторов как: курение, стаж курения и пассивное курение с помощью микроядерного теста. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что данные факторы влияют на увеличение клеток с микроядрами.

In this work, it was made the influence assessment on the formation of micronuclei of such factors as: smoking, smoking experience and passive smoking using the micronucleus test. The results obtained allow us to conclude that these factors affect the increase in cells with micronuclei.

Ключевые слова: микроядро, микроядерный тест, буккальный эпителий.

Keywords: micronucleus, micronucleus test, buccal epithelium.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-101-103>

Введение. Микроядерный тест представляет собой тест-систему мутагенности, которая используется для идентификации химических веществ, которые способны индуцировать образование микроядер в цитоплазме клеток. Микроядра широко используются в цитогенетике и эпидемиологии в роли биомаркеров генотоксического воздействия различных соединений на организм и индикаторов хромосомной нестабильности. Регистрация клеток, имеющих микроядра, является высокоинформативным диагностическим показателем различных заболеваний и воздействия факторов окружающей среды на цитогенетический статус человека [1].

Микроядерный тест может быть использован для:

- контроля влияния факторов окружающей и производственной среды на организм человека.
- контроля эффективности радиопротекторов [2].
- цитогенетических исследований с целью обнаружения и подсчета различных патологических образований [3].
- определения степени риска возникновения различных патологий у людей, работающих во вредных условиях.
- тестирования различных химических соединений [4].

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось на базе Международного государственного института имени А. Д. Сахарова, среди студентов четвертого курса, специальности медико-биологическое дело. Микроядерный тест был проведен на клетках буккального эпителия полости рта 25 студентов.

Материалом для исследования служили мазки со слизистой максиллярной зоны щеки. Участники исследования забирали биоматериал с помощью цитощеточек, после чего изготавливались препараты.

Дальнейшее исследование заключалось в обнаружении и подсчете микроядер в клетках с помощью трансмиссионного светового микроскопа. В светлом поле при четырехсот кратном увеличении просматривалось 1000–2000 клеток и производился подсчет клеток, которые содержат микроядра, и количество микроядер в этих клетках.

Результаты исследования. В результате микроскопирования, были сформированы 2 группы. Основная, в количестве 14 курящих человек и группа сравнения, в количестве 11 некурящих человек.

Результаты анализа препаратов клеток буккального эпителия представлены ниже (рисунок 1).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что частота встречаемости клеток с микроядрами статистически значительно выше в основной группе ($1,27 \pm 0,356$), чем в группе сравнения ($0,3 \pm 0,173$), ($P < 0,05$), следовательно, фактор курения увеличивает частоту встречаемости микроядер в клетках.

Одного этого фактора уже достаточно, чтобы вызывать увеличение частоты встречаемости клеток с микроядрами, однако в работе рассматривались и другие факторы, связанные с курением (стаж курения и среднее количество выкуренных в день сигарет).

Влияние стажа курения на процент клеток с микроядрами (рисунок 2).

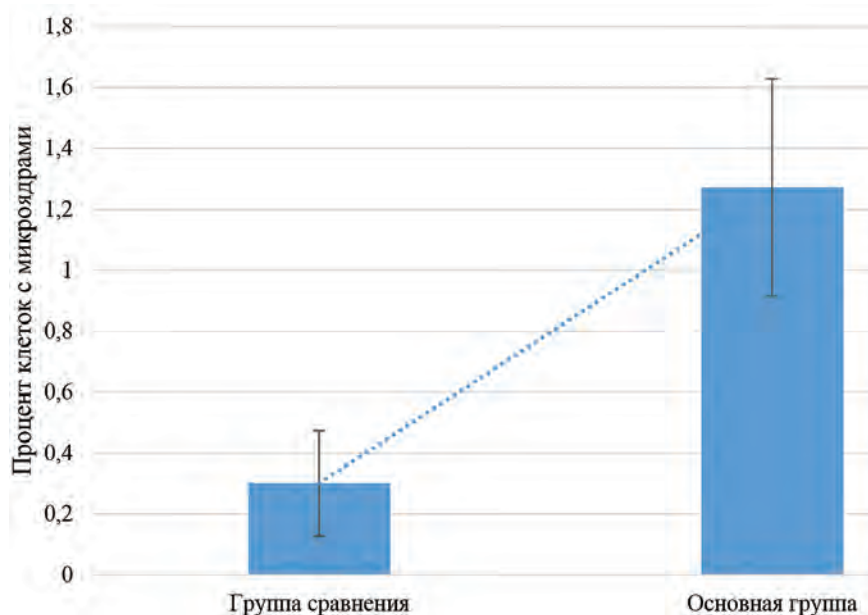


Рисунок 1 – Зависимость частоты встречаемости клеток с микроядрами от фактора курения

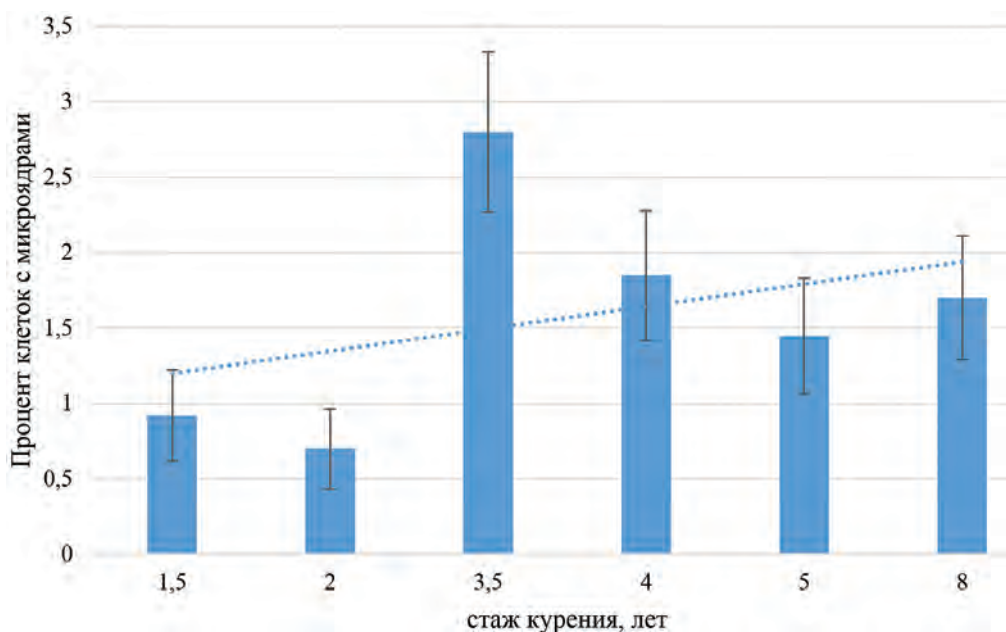


Рисунок 2 – Зависимость частоты встречаемости клеток с микроядрами от стажа курения

Частота встречаемости клеток с микроядрами, у исследуемых со стажем курения от 3,5 лет ($2,8 \pm 0,529$) статистически значительно выше, чем у исследуемых со стажем курения от 1,5 до 2 лет ($0,7 \pm 0,265$), ($P < 0,05$). Исходя из этого, можно сделать вывод, что с увеличением стажа курения, растет и частота встречаемости клеток с микроядрами, следовательно, данный фактор комбинируется с фактором курения и еще больше увеличивает количество клеток с микроядрами.

Также была проведена оценка влияния среднего количества выкуренных в день сигарет на количество клеток с микроядрами (рисунок 3).

Частота встречаемости клеток с микроядрами, у исследуемых, которые выкуривают более трех сигарет в день ($1,9 \pm 0,436$) статистически значительно выше, чем у исследуемых, которые выкуривают до трех сигарет в день ($0,983 \pm 0,31$), ($P < 0,05$), что также позволяет сделать вывод о влиянии данного фактора на увеличение частоты встречаемости клеток, содержащих микроядра.

В качестве еще одного фактора, влияющего на частоту встречаемости клеток с микроядрами, рассматривалось пассивное курения (рисунок 4).

Исходя из полученных результатов видно, что у пассивных курильщиков ($0,45 \pm 0,212$) частота встречаемости клеток с микроядрами статистически значительно выше, чем у тех, кто им не является ($0,12 \pm 0,1$), ($P < 0,05$). Данные наблюдения позволяют сделать вывод, что фактор пассивного курения также влияет на увеличение частоты встречаемости клеток, в состав которых входят микроядра.

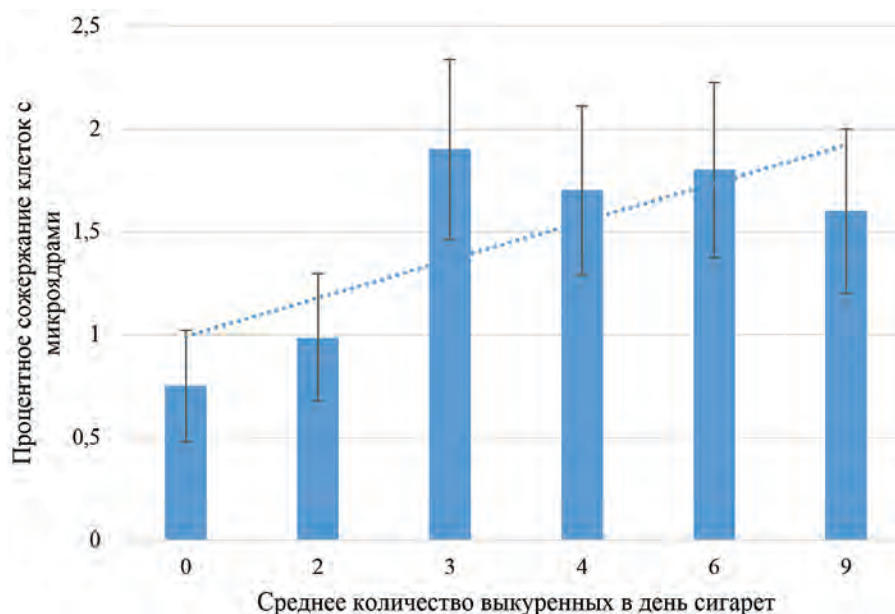


Рисунок 3 – Зависимость частоты встречаемости клеток с микроядрами от стажа курения

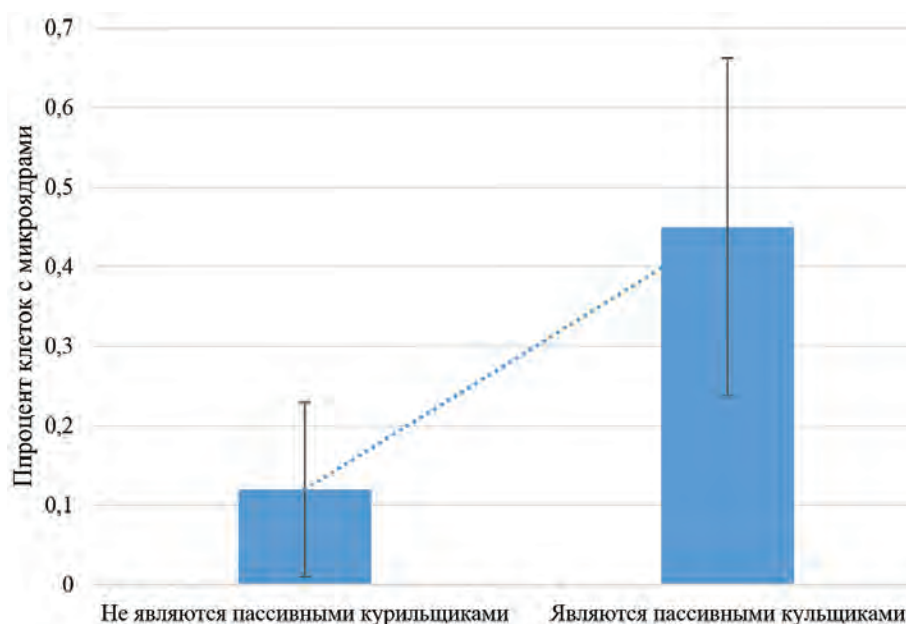


Рисунок 4 – Зависимость процента клеток с микроядрами от фактора пассивного курения

В ходе проведения работы была проведена оценка влияния на формирование микроядер таких факторов как: курение, стаж курения, среднее количество выкуранных в день сигарет, пассивное курение.

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что первые 3 фактора влияют на увеличение количества клеток с микроядрами в основной группе, как при отдельном действии, так и при комбинированном. Фактор пассивного курения также влияет на увеличение процента клеток с микроядрами, что четко видно по результатам исследований в группе сравнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микроядерный тест буккального эпителия как биомаркер генотоксичности / К. Наффин [и др.] // Novainfo №74-1. – 2017.
2. Air pollution in Calcutta elicits adverse pulmonary reaction in children/ T. Lahiri [et al.]; // Indian. J. Med. Res. – 2000. – V. 112. – P. 21-26.
3. Schmid W. The micronucleus test // Mutat. Res. – 1973. – Vol. 31, N 1. – P. 9–16.
4. Whyte M.K. Alveolar macrophage apoptosis contributes to pneumococcal clearance in a resolving model of pulmonary infection / D.H. Dockrell [et al.]; // J. Immunol. – 2003. – V. 171. – № 10. – P. 5380–5388.

ОБЗОР СВОЙСТВ БАКТЕРИОФАГОВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФАГОТЕРАПИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

OVERVIEW OF THE PROPERTIES OF BACTERIOPHAGES AND THE POSSIBILITIES OF PHAGE THERAPY IN THE MODERN WORLD

Я. Ю. Бозуш^{1,2}, Н. В. Иконникова^{1,2}

Ya. Yu. Bogush^{1,2}, N. V. Ikonnikova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
kaf_immunal@iseu.by, yanab0807@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

² International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Бактериофаги – вирусы бактерий, обладают строгой специфичностью, направленностью воздействия и, в отличие от антибиотиков, не подавляют развитие нормальной микрофлоры, не ослабляя иммунную защиту организма человека, не способствуют аллергизации. Фаготерапия нашла широкое применение в практическом здравоохранении многих стран мира. Бактериофаги выступают альтернативой общепризнанным методам лечения бактериальных инфекций. При этом установлено отсутствие какой-либо токсичности препаратов и показано их применение для любой категории пациентов: детей, беременных женщин, пожилых людей, онкобольных, с послеоперационными осложнениями, с заболеваниями сердечно-сосудистой системы и сахарным диабетом.

Bacteriophages are bacterial viruses. They have strict specificity, the direction of action and, unlike antibiotics, do not suppress the development of normal microflora, without weakening the immune defense of the human body, do not contribute to allergization. Phage therapy has found wide application in practical healthcare in many countries of the world. Bacteriophages act as an alternative to generally accepted methods of treating bacterial infections. At the same time, the absence of any toxicity of drugs was established and their use was shown for any category of patients: children, pregnant women, the elderly, cancer patients, with postoperative complications, with diseases of the cardiovascular system and diabetes mellitus.

Ключевые слова: бактериофаги, фаготерапия, антибиотик, бактериальные инфекции.

Keywords: bacteriophages, phage therapy, antibiotic, infectious bacterial diseases.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-104-107>

Бактериофаги (фаги) представляют собой группу вирусов, поражающих бактериальные клетки. Впервые эти вирусы были обнаружены в 1917 году канадским ученым Ф.д'Эррелем при исследовании биологического материала больных дизентерией. Обнаружение бактериофагии (лизиса бактериальной клетки, пораженной бактериофагом) открыло новую нишу в исследованиях свойств бактериофагов в рамках микробиологии, вирусологии, генетики, биохимии, иммунологии, радиобиологии и биотехнологии. Таким образом, фаги изучены в достаточной мере для их использования в научных, медицинских, экологических и промышленных целях.

Одним из главных вопросов современного человечества является устранение антибиотикорезистентности среди бактерий посредством замены антибиотиков на другие эффективные препараты. Одно из решений вопроса – создание препаратов на основе вирусов бактерий.

Действие препаратов с бактериофагами обусловлено характером их жизнедеятельности. Как и многие другие вирусы, фаги внедряют свой геном в бактериальную клетку (она должна быть специфична для данного вируса), после чего многократно его копируют и активируют лизис бактерии. Из разрушенной клетки в окружающее ее пространство попадает большое количество копий изначально попавшего в нее фага. Следовательно, вновь появившиеся бактериофаги атакуют следующие бактерии того же типа.

Таким образом, использование бактериофагов в медицине считается эффективным, т.к. такое лечение бактериальных инфекций не токсично, не вызывает дисбактериозов, аллергических реакций и других последствий, характерных для антибиотикотерапии. Кроме того, препараты бактериофагов можно использовать как самостоятельную лекарственную терапию, так и в комплексе с антибиотиками и/или иммунотерапией [3]. Бактериофаги находят свое применение и как профилактические препараты в условиях техногенных катастроф и природных катаклизмов (пожары, наводнения и т.д.), в очагах бактериальных инфекций. Пристальное внимание таким возбудителям, как протей, синегнойная палочка, а также шигеллез, сальмонеллез и брюшной тиф [4, 3].

Основным признаком бактериофагов является специфичность. Она выражается в том, что каждый бактериофаг способен лизировать только определенный вид бактерий. Вирулентные бактериофаги проникают в бактериальную клетку, репродуцируются в ней и вызывают ее лизис (литический цикл). Умеренные фаги, проникнув в бактериальную клетку, встраивают свою ДНК в геном бактерии и в виде профага передаются по наследству от клетки к клетке, не вызывая лизиса бактерий (лизогенный цикл).

Жизненный цикл вирулентного фага похож на таковой у вирусов животных и начинается с адсорбции его на клеточной стенке бактерии. Бактериофаг прикрепляется своими фибриллами, шипами или специфическими белками к фагоспецифическим рецепторам на клеточной стенке бактерий. Для каждого семейства и варианта вируса рецепторами могут служить разные структуры бактериальной клетки. Например, рецепторы для фагов Т3 и Т4 расположены в липополисахаридном слое, для Т2 и Т6 – в наружной мембране. Некоторые мелкие фаги в качестве рецепторов используют F-пили бактерий. Также адсорбция фага зависит от состояния среды: pH, температуры, наличия катионов (Ca^{2+} и Mg^{2+} стимулируют адсорбцию). На одной бактериальной клетке может адсорбироваться до 200–300 частиц фага.

После того, как вирус основательно прикрепился на клеточной стенке бактерии, начинается этап инъекции его нуклеиновой кислоты внутрь клетки. Клеточная стенка расщепляется лизоцимом, и одновременно с этим в сократительном чехле бактериофага высвобождаются ионы кальция, которые активируют АТФазу, что нужно для регенерации энергии. В результате чехол сокращается и посредством этого происходит выталкивание стержня хвостового отростка через цитоплазматическую мембрану внутрь клетки. По каналу стержня ДНК фага «впрыскивается» в цитоплазму бактерии. Поскольку диаметр стержневого канала незначительно превышает диаметр молекулы ДНК (около 20 нм), то ДНК попадает в цитоплазму в линейной форме. При этом только около 10% фаговой ДНК попадает внутрь клетки во время сокращения чехла, а остальная часть ДНК втягивается в цитоплазму бактерии благодаря процессам транскрипции и трансляции. При адсорбции фагов на половых ворсинках проникновение нуклеиновой кислоты происходит по каналу F-пили.

Проникнув в клетку, ДНК фага «исчезает»; уже через несколько минут обнаружить вирус не удаётся. В этот скрытый период, называемый эклипсом, вирус берет на себя генетическое управление клеткой, осуществляя полный цикл репродукции фага. Инъекцированная нуклеиновая кислота вызывает перестройку метаболизма бактериальной клетки: прекращается синтез бактериальных нуклеиновых кислот и белков. В первую очередь синтезируются ферменты, необходимые для образования копий фаговой ДНК. К ним относятся ДНК-полимераза, киназы (для образования нуклеозидтрифосфатов) и тимидилат синтетаза. Они появляются через 5–7 минут после заражения бактериальной клетки. Репликация нуклеиновых кислот реализуется за счет активности вновь синтезированных вирусных ДНК-полимераз, производящих множественные копии вирусных нуклеиновых кислот. Процесс взаимодействия фагового генома с геномом бактерии происходит при помощи специального белка, называемого «белком-лоцманом». Затем с копиями вирусной ДНК взаимодействует клеточная РНК-полимераза. Она транскрибирует фаговую ДНК в иРНК, которая транслируется бактериальными рибосомами в «ранние» белки фага, включая вирусную РНК-полимеразу и белки, способные посредством различных механизмов ограничивать экспрессию бактериальных генов. Далее ДНК бактериофага транскрибируется с помощью собственной, вирусной, РНК-полимеразы. Образующаяся иРНК поступает на рибосомы клетки-хозяина, где синтезируются «поздние» фаговые белки. Они в цитоплазме клетки формируют капсиды, отростки и другие структуры дочерних фаговых частиц. Некоторые вирусы расщепляют ДНК клетки-хозяина до нуклеотидов, чтобы использовать их для синтеза собственных нуклеиновых кислот.

Вновь синтезированные белки формируют в цитоплазме пул фаговых предшественников, входящих в состав головок и хвостов дочерних вирусных частиц. Другой пул содержит ДНК потомства. Специальные аффинные области в вирусной ДНК инициируют объединение предшественников капсидов вокруг нуклеиновой кислоты и образование ДНК-содержащих головок. Заполненный нуклеиновой кислотой капсид взаимодействует с хвостовой частью и образует зрелую фаговую частицу. Соединение хвоста с головкой происходит только после полной их сборки. Точно так же ворсинки присоединяются к хвосту только после полного соединения отростка с головкой. Эта последовательность процессов обеспечивается благодаря строгому генетическому контролю со стороны фага. Весь процесс (от адсорбции до появления вновь синтезированных вирусов) занимает около 40 мин. Такие циклы продолжаются до тех пор, пока не будут лизированы все чувствительные к фагу клетки.

Образованные множественные копии фага-родоначальника выходят наружу в результате лизиса клеточной оболочки бактерии изнутри лизоцимом. Он синтезируется на последнем этапе размножения фага. Нередко при таком «уходе» геном фага захватывает близлежащие гены хромосомы бактерии. Проникая в другую бактериальную клетку, такой бактериофаг (трансдуцирующий фаг) может передать ей новые признаки. Этот процесс передачи генетической информации с помощью бактериофага называется трансдукцией. Некоторые нитевидные фаги высвобождаются из клетки путем прохождения нуклеиновой кислоты через цитоплазматическую мембрану и клеточную стенку бактерий. Во время такого прохождения фаги приобретают капсиды.

ДНК умеренных фагов после проникновения в цитоплазму встраивается в геном бактериальной клетки. В результате этого процесса образуется комплекс ДНК фага с хромосомой бактерии – профаг. Культура таких бактерий, в геном которых включился профаг, называется лизогенной культурой. При этом процессе ДНК вируса не вызывает образования вирус-специфических белков нуклеиновых кислот.

Совместное сосуществование бактерии и умеренного бактериофага называется лизогенией. Бактериальная культура, образующая после индукции один вид фага, называется монолизогенной, а бактериальная культура, образующая несколько видов фагов, – полилизогенной.

ДНК умеренного фага встраивается в строго определенную область генома, синхронно с ним реплицируется и передается по наследству. При лизогении фагового потомства не образуется, так как в бактерии синтезируется специфический низкомолекулярный белок-репрессор, подавляющий транскрипцию фаговых генов. Биосинтез репрессора детерминирован генами профага. Иногда (примерно в одной из 102–105 подобных бактерий) фаг начинает спонтанно размножаться, но клетка при этом подвергается лизису. Такой переход умеренного фага на литический цикл развития происходит при нарушениях синтеза белкового репрессора. При этом встроенный в геном бактерии вирус проявляет все свои вирулентные свойства, репродуцируется и лизирует клетки, а также может инфицировать другие клетки. Примечательно, что лизогенные бактерии приобретают невосприимчивость к последующему проникновению и размножению в них родственного фага.

Лизогенизация бактерий может приводить к изменению их морфологических, культуральных, ферментативных, антигенных и биологических свойств. При этом профаг может придавать бактерии новые ранее отсутствовавшие у нее свойства. Феномен изменения свойств микробов под влиянием профага называется фаговой конверсией. Например, известны различные бактерии, вирулентные свойства которых (обычно в виде экзотоксинов или адгезинов) кодируются лизогенными фагами. То есть лизогенная бактерия будет вирулентной, тогда как ее нелизогенный двойник останется безвредным.

Способность бактериофагов лизировать клетки бактерий определенных видов позволяет использовать их для диагностики, профилактики и лечения инфекционных заболеваний. Бактериофаги используются при диагностике сибирской язвы, брюшного тифа, дизентерии и других инфекционных заболеваний. Высокая чувствительность бактерий к специфическому фагу позволяет отличить близкородственные виды. Типирующие наборы бактериофагов применяют при эпидемиологических исследованиях, выявляющих резервуар инфекции, пути передачи возбудителя и его хозяев. По содержанию некоторых бактериофагов во внешней среде можно судить о присутствии в них соответствующих бактерий. Например, наличие фагов кишечных бактерий свидетельствует о фекальном загрязнении объектов внешней среды. Поэтому бактериофаги кишечных бактерий используются в качестве санитарно-показательных микроорганизмов. При исследовании питьевой воды определяют присутствие и количество колифагов – фагов, лизирующих представителей рода *Escherichia*. Колифаги являются индикаторами загрязнения воды патогенными энтеровирусами и очистки питьевой воды от энтеровирусов.

Современная биотехнологическая промышленность выпускает следующие диагностические препараты бактериофагов: сибиреязвенный, листериозный, бруцеллезный и стафилококковые бактериофаги для типирования штаммов.

В профилактических целях бактериофаги используются в тех случаях, когда возбудитель известен. В настоящее время по эпидемическим показаниям фагопрофилактику проводят только при дизентерии и брюшном тифе. Фагопрофилактика имеет ряд преимуществ: возможность использования в больших количествах, быстрота действия, легкость введения, полная безвредность.

При использовании бактериофагов в лечебных целях предварительно определяют чувствительность возбудителей к данному бактериофагу. В настоящее время применение фагов с лечебной целью проводится редко. Это в первую очередь связано с широким применением антибиотиков. В терапевтических целях часто используют смесь разных фагов: против протей, кишечной палочки и энтерококка, а также против синегнойной палочки и других грамотрицательных микробов. Поливалентные препараты могут включать бактериофаги против различных вариантов бактерий одного вида.

Современные лечебно-профилактические бактериофаги представляют собой комплекс поликлональных вирусов, специально подобранных против наиболее часто встречающихся групп возбудителей бактериальных инфекций [1]. Использование препаратов бактериофагов стимулирует активизацию факторов специфического и неспецифического иммунитета, поэтому фаготерапия особенно эффективна при лечении хронических воспалительных заболеваний на фоне иммунодепрессивных состояний. Бактериофаги не препятствуют реализации лечебного действия других препаратов и не чувствительны к их воздействию. Имеются данные, свидетельствующие о том, что после попадания бактериофагов в макроорганизм запускаются механизмы специфического гуморального и клеточного иммунных ответов. Идет процессинг фаговых антигенов антигенпредставляющими клетками. Фаговые антигены могут быть представлены дендритными клетками Т-лимфоцитам, что приводит к развитию клеточного иммунитета и высвобождению цитокинов. Также показано, что иммунная система позвоночных не индуцирует специфический клеточный ответ, и Т-лимфоциты не участвуют в элиминации бактериофагов [3].

Выявлено, что сочетание комплекса препаратов бактериофагов с другими типами лекарственных средств может быть более эффективным. При этом бактериофаги не вызывают побочных токсических и аллергических реакций и не имеют противопоказаний [1]. Также, в отличие от антибиотиков, у препаратов с фагами отсутствует действие на микрофлору [5]. Их также применяют для лечения ряда заболеваний у беременных женщин в сочетании с другими лечебными препаратами [1].

Кроме того, возможно санитарно-гигиеническое применение бактериофагов в пищевой промышленности, сфере общественного питания, в детских и воинских коллективах. Под термином «биоконтроль» подразумевается использование бактериофагов как непосредственно человеком в виде пероральных (пищевые добавки) или иных форм фагокомпозиций (зубная паста, крем, дезодорант и т.д.), так и для обработки сельскохозяйственных

культур и животных (до сбора урожая и забоя), инструментария и оборудования больниц и предприятий пищевой промышленности, полуфабрикатов или готовых продуктов питания с целью сокращения количества присутствующих на этих объектах определенных штаммов патогенных бактерий [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимкин, В.Г. Бактериофаги: исторические и современные аспекты их применения: опыт и перспективы / В.Г. Акимкин, О.С. Дарбеева, В.Ф. Колков // Клиническая практика. – 2010. – № 4. – С. 48–54.
2. Алешкин, А.В. Бактериофаги как пробиотики и средства деконтаминации пищевых продуктов / А.В. Алешкин [и др.]. // Астраханский медицинский журнал. – 2012. – Т.7, № 3. – С. 31–39.
3. Бактериофаги и иммунная система макроорганизма / И. А. Иванова [и др.] // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2019. – № 6. – 79–84.
4. Бехтерева, М.К. Место бактериофагов в терапии инфекционных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Consilium medicum / М.К. Бехтерева, В.В. Иванова // Педиатрия. 2014. – № 2. – С. 24–29.
5. Додова, Е.Г. Постантибиотиковая эра: бактериофаги как лечебная стратегия / Е.Г. Додова, Е.А. Горбунова, И.А. Аполихина // Медицинский совет. – 2015. – № 11. – С. 49–53.

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ COVID-19 НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF THE INCIDENCE OF COVID-19 IN THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

А. А. Шляхтичева^{1,2}, Е. П. Живицкая^{1,2}, А. Г. Сыса^{1,2}

A. A. Shlyakhticheva^{1,2}, E. P. Zhivitskaya^{1,2}, A. G. Sysa^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by, alinushka1a@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Коронавирусная инфекция (COVID-19) является тяжелой острой респираторной инфекцией. Проведено описательное эпидемиологическое исследование на основе анализа случаев выявления коронавирусной инфекции в Республике Беларусь в период с 24.03.2020 г. по 01.03.2022 г. Материалом по изучению тенденций заболеваемости коронавирусной инфекции послужили данные ВОЗ за период апрель-февраль 2020–2022 гг. Изучена динамика регистрации случаев выявленной новой коронавирусной инфекции COVID-19 по датам регистрации и сгруппированным данным по месяцам за период наблюдения. Помесячный анализ развития эпидемического процесса позволил отметить, что заболеваемость COVID-19 носит волнообразный характер. Одной из мер профилактики заболеваемости COVID-19 вакцинация. В Республике Беларусь больше половины населения получили первую дозу вакцины.

Coronavirus infection (COVID-19) is a severe acute respiratory infection. A descriptive epidemiological study was conducted based on the analysis of cases of detection of coronavirus infection in the Republic of Belarus in the period from 24.03.2020 to 01.03.2022 WHO data for the period April-February 2020–2022 served as material for studying trends in the incidence of coronavirus infection. The dynamics of registration of cases of detected new coronavirus infection COVID-19 was studied by registration dates and grouped data by months during the observation period. A monthly analysis of the development of the epidemic process made it possible to note that the incidence of COVID-19 is undulating. Vaccination is one of the ways to prevent the spread of COVID-19. In the Republic of Belarus, more than half of the population received the first dose of the vaccine.

Ключевые слова: коронавирусная инфекция, тенденции заболеваемости, вакцинация.

Keywords: coronavirus infection, incidence trends, vaccination.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-107-110>

Коронавирусная инфекция (COVID-19) является респираторной инфекцией, вызываемой коронавирусом 2, и вызывает тяжелое острое заболевание с развитием в ряде случаев респираторного дистресс-синдрома. Вирус был впервые выявлен во время эпидемической вспышки в городе Ухань, провинция Хубэй, Китай. Первоначально ВОЗ об этом было сообщено 31 декабря 2019 года, а уже 30 января 2020 года ВОЗ объявила вспышку COVID-19 глобальной чрезвычайной ситуацией в области здравоохранения. 11 марта 2020 года ВОЗ объявила COVID-19 глобальной пандемией, впервые назвав пандемией инфекционный процесс после пандемии гриппа H1N1 в 2009 году [1].

В Республике Беларусь COVID-19 внесена в перечень заболеваний, представляющих опасность для здоровья населения в соответствии с постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 18 февраля 2020 г. «Об изменении постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 15 июня 2012 г. № 75»; постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15 июня 2020 № 344 «Об изменении постановления Совета Министров Республики Беларусь от 30 ноября 2007 г. № 1650».

Беспрецедентные по масштабу клинические наблюдения и статистика смертей при COVID-19 показали, что развитие вирусной пневмонии с ее переходом в острый респираторный дистресс-синдром наблюдается преимущественно у пожилых людей с хронической патологией дыхательной и сердечно-сосудистой систем при неизбежном наличии в этих случаях общей и легочной тканевой гипоксии. Возникающей на этом фоне острый респираторный дистресс-синдром характеризуется интенсивной воспалительной реакцией («цитокиновый шторм»), ведущей к обширному интерстициальному отеку легких, гипоксемии, септическому шоку, диссеминированному внутрисосудистому свертыванию крови и полиорганной недостаточности, требующих респираторной поддержки (ИВЛ) и других лечебных мероприятий, направленных на спасение жизни.

Причины развития столь интенсивного воспалительного ответа на фоне гипоксии при COVID-19 пока не ясны, хотя в настоящее время имеются предпосылки, позволяющие думать об особом характере деструктурирующего эффекта этой инфекции на клеточные элементы тканей. Одной из таких предпосылок является достоверно доказанная эффективность по снижению тяжести заболевания и смертности при COVID-19 базисных противоревматических средств (хлорохин, гидроксихлорохин), оказывающих иммуносупрессивное и неспецифическое противовоспалительное действия. Аналогичный лечебный эффект при COVID-19 проявляют и высокоспецифические антицитокиновые агенты, разработанные для лечения ревматоидного артрита – препараты моноклональных антител – антагонисты рецепторов противовоспалительных интерлейкинов – ИЛ-6 (тоцилизумаб, саримумаб, силтуксимаб), ИЛ-1 (анакинра), хемокинового рецептора CCR5 (леронлимаб), ингибиторы тирозин киназы JAK3 (федратиниб, барицитиниб), действие которых направлено на снижение воспалительного ответа (цитокинового шторма) при COVID-19.

Примечательно, что именно эти средства превосходят по эффективности при COVID-19 все испытанные к настоящему времени этиотропные противовирусные препараты, в том числе и наиболее надежные противогриппозные средства – ингибиторы нейраминидазы (осельтамивир), не проявившие в данном случае заметной активности.

Другой предпосылкой, указывающей на вероятную значимость повышенной деструкции тканей в патогенезе COVID-19, является обнаруженное при этой инфекции повреждение гема гемоглобина эритроцитов с освобождением ионов двухвалентного железа, ведущего одновременно и к усилению гипоксии и лавинной генерации цитотоксических радикалов. Снижение концентрации кислорода в организме вначале происходит бессимптомно, и такое состояние получило название «молчаливой» гипоксии.

Проведено описательное эпидемиологическое исследование на основе анализа случаев выявления коронавирусной инфекции в Республике Беларусь в период с 24.03.2020 г. по 01.03.2022 г. Материалом по изучению тенденций заболеваемости коронавирусной инфекции послужили данные ВОЗ за период апрель-февраль 2020–2022 гг. Изучена динамика регистрации случаев выявленной новой коронавирусной инфекции COVID-19 по датам регистрации и сгруппированным данным по месяцам за период наблюдения.

Первые случаи новой коронавирусной инфекции COVID-19 в Республике Беларусь были выявлены 31 января 2020 года. Ими оказались лица, прибывшие из-за рубежа. В первые десять дней (24.03.2020-04.04.2020) с момента регистрации первых случаев на территории страны было выявлено 9 человек с лабораторно подтвержденной новой коронавирусной инфекцией. Этот период времени можно считать первой неделей от момента регистрации первых заболевших в РБ. Через месяц, на 20.04.2020 заболеваемость регистрировалась в 2 раза выше. Помесячный анализ развития эпидемического процесса позволил отметить следующие изменения: за первый месяц эпидемии COVID-19 в Республике Беларусь (на апрель 2020 г.) показатель заболеваемости составлял 146,8 на 100 тыс. населения; за второй месяц (май 2020 г.) – 301,8 (увеличился в 2,05 раза); за третий месяц эпидемии (июнь 2020 г.) – 207 (увеличился в 1,45 раза) (рис. 1).

На первичных этапах развития эпидемического процесса распространение инфекции было обусловлено завозными случаями, а в последующем – местной передачей. Начиная с июля отмечается снижение показателей заболеваемости, что следует рассматривать, как благоприятную динамику развития эпидемического процесса. Стабилизации к июлю эпидемиологической ситуации по COVID-19 в Республике Беларусь способствовала реализация комплекса профилактических и противоэпидемических мероприятий. Однако с октября 2020 года число случаев снова начинает увеличиваться. Можно отметить, что заболеваемость COVID-19 носит волнообразный характер. «Всплеск» новой волны наблюдается с появлением нового штамма коронавирусной инфекции. В феврале 2022 заболеваемость регистрируется на уровне 1870,4 случаев на 100000 населения. Это связано с появлением нового штамма «омикрон», который более вирулентен, но данный штамм редко сопровождается тяжелым течением болезни [5].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) предлагает как общие рекомендации по снижению риска заражения SARS-CoV-2, так и вакцинопрофилактику. Вакцинация против COVID-19 предназначена для формирования приобретённого иммунитета против вируса SARS-CoV-2 путём тренировки собственной иммунной системы. Создаваемая вакцина против COVID-19 предполагает эффективную профилактику распространения коронавирусной инфекции.

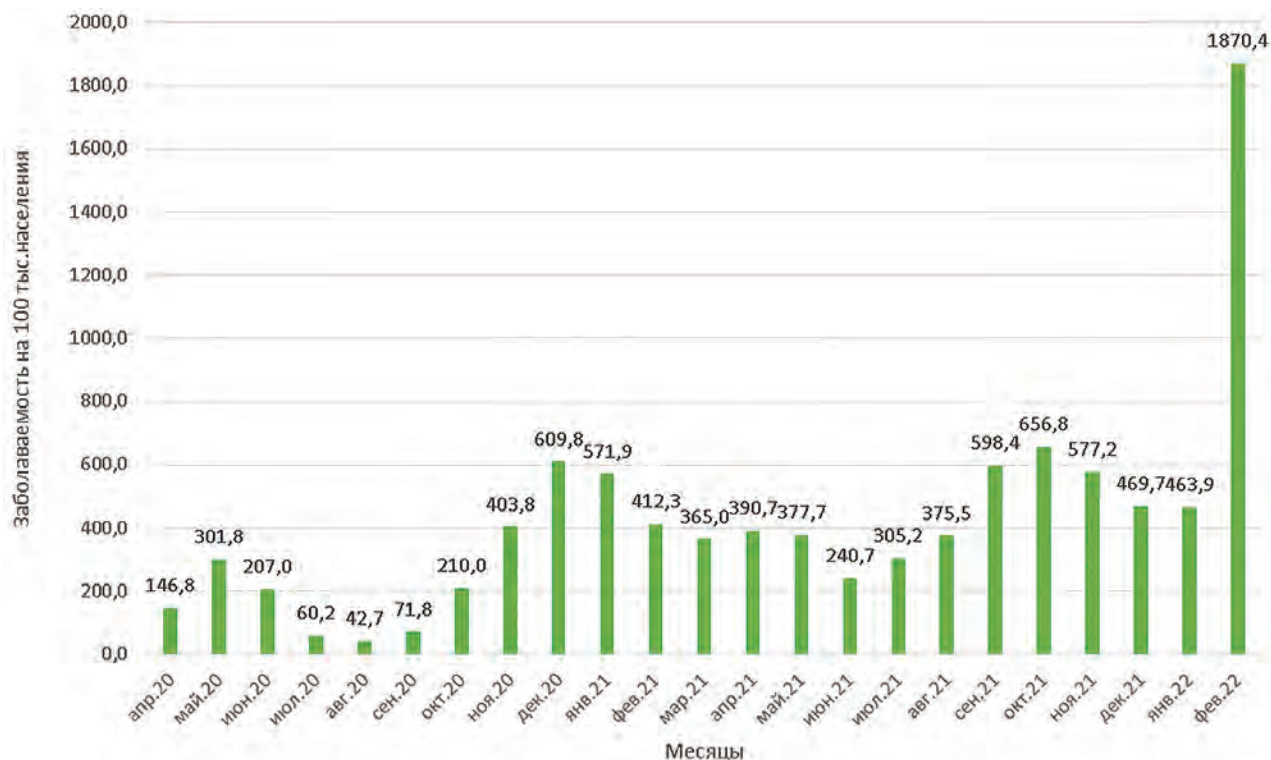


Рисунок 1 – Динамика заболеваемости COVID-19 населения Республики Беларусь за 2020–2022 гг.

Вакцинация против COVID-19 предназначена для формирования приобретённого иммунитета против вируса SARS-CoV-2 путём тренировки собственной иммунной системы. Из-за возможного тяжёлого течения заболевания необходима безопасная и эффективная вакцина, которая поможет защитить людей, что особенно важно для медицинских работников и людей, входящих в группы риска. Во всём мире регулирующие органы находятся под сильным давлением не только систем здравоохранения, но также под политическим и экономическим давлением, направленным на широкомасштабное применение вакцин вне клинических испытаний.

В Республику Беларусь поступила вакцина «Спутник V» – препарат российский. Страна первая, кто после России начинает массовую вакцинацию. Поводом для регистрации вакцины в Беларуси, а потом и для ее ввода в гражданский оборот стала, в первую очередь, эффективность «Спутника V». Это препарат, разработанный российскими учеными института имени Гамалеи. 29 декабря 2020 года началась вакцинация населения российской вакциной «Спутник V». Первыми были вакцинированы медицинские работники, педагоги и те специалисты, которым в силу особенностей профессии приходится много контактировать с людьми. Вакцинация проводится в добровольном порядке. С 15 марта 2021 года также началась вакцинация китайской вакциной SARS-CoV-2 Vaccine (Vero Cell). На 4 марта 4 632 574 (43,5 %) белорусов прошли полную вакцинацию (таблица 1).

Таблица 1 – Вакцинация в Республике Беларусь (данные на 04.03.2022)

Всего введённых доз	Люди прошедшие полную вакцинацию	% населения	Люди, получившие минимум одну дозу	% населения	Ревакцинация	% населения
10 649 534	4 632 574	43,5 %	5 528 298	51,9 %	275 734	2,6%

Для сравнения, в России, в отличие от Республики Беларусь, власти ввели локдаун, рассчитывая на меры профилактики и вакцинацию. По всей стране обязательно ношение масок в общественных местах и транспорте. Кроме того, в разных регионах действуют ограничения для ресторанов и развлекательных заведений по числу посетителей и часам работы. В Москве предписали, а в некоторых регионах лишь рекомендовали предприятиям отправить 30 процентов сотрудников на удаленную работу. Кампания по вакцинации против коронавирусной инфекции в России идет больше года. Сначала «Спутником V» могли привиться лишь представители определенных профессий, например, врачи и учителя, но постепенно эти ограничения были сняты. С середины января 2021 года вакциной в большинстве регионов может привиться любой желающий. С 9 марта 2021 года идут клинические испытания китайской вакцины. На 4 марта

2022 года 71 977 339 (44,7%) привились от COVID-19. С 15.03.2022 года свыше 40 российских регионов отменили антиковидные ограничения для предприятий, за исключением масочного режима и требований о дезинфекции.

В настоящее время активно используются новые идеи, материальные ресурсы, чтобы не допустить новой волны коронавируса. Развивающийся эпидемический процесс еще раз подтвердил мировой исторический опыт противодействия эпидемиям, где на первом месте стоят карантинные и ограничительные мероприятия. Этому принципу привержены большинство стран, включая Беларусь.

Процесс прогнозирования дальнейшего развития эпидемии должен быть продолжен, но все большее количество аналитиков высказывается за длительный период развития событий. Нарастающая заболеваемость COVID-19 в Беларуси свидетельствует о том, что эпидемический процесс в нашей стране проходит через все уже известные этапы, наблюдаемые в ряде европейских стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Brunk, D.* CDC: First Person-to-Person Spread of Novel Coronavirus in US / D. Brunk // *Medscape Medical News*. – 2020. – P. 1–3.
2. *Cao, B.* A Trial of Lopinavir–Ritonavir in Adults Hospitalized with Severe Covid-19 / B. Cao [et al.] // *New England Journal of Medicine*. – 2020. – P. 1787–1799.
3. *Gorbalenya, A.E.* Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus. The species and its viruses, a statement of the Coronavirus Study Group / A.E. Gorbalenya // *Nature Microbiology*. – 2020. – P. 1–15.
4. *Сперанская, А.А.* Лучевые проявления новой коронавирусной инфекции COVID-19 / А.А. Сперанская // *Лучевая диагностика и терапия*. – 2020. – № 1 (11). – С. 18–25.
5. *Шлемская, В.В.* Новая коронавирусная инфекция COVID-2019: краткая характеристика и меры по противодействию ее распространению в Российской Федерации / В.В. Шлемская [и др.] // *Медицина катастроф*. – 2020. – № 1. – С. 57–61.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗМА У БЕРЕМЕННЫХ И ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА БЕЛАРУСИ ПРИ АУТОИММУННОМ ТИРОИДИТЕ

FEATURES OF MICROELEMENT SUPPLEMENTATION OF THE BODY IN PREGNANT WOMEN AND YOUNG CHILDREN OF BELARUS WITH AUTOIMMUNE THYROIDITIS

**С. В. Петренко^{1,2}, Ю. В. Жильцова^{1,2}, А. Сейтмедова³,
А. Б. Джунелов³, Т. С. Опанасенко^{1,2}, С. В. Лаптенюк⁴
S. V. Petrenko^{1,2}, Yu. V. Zhiltsova^{1,2}, A. Seitmedova³,
A. B. Dzhunelov³, T. S. Opanasenko^{1,2}, S. V. Laptienok⁴**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

³Международный Учебно-Научный Центр Министерства здравоохранения и медицинской промышленности, Ашхабад, Республика Туркменистан

⁴Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

¹*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

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

³*International Educational and Scientific Center Ministry of Health and Medical Industry, Ashgabat, Republic of Turkmenistan*

⁴*Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

У детей с сонографическими признаками АИТ из населенных пунктов Витебской и Минской областей выявлено сниженное содержание йода селена и цинка в организме, что является отличительной чертой по микроэлементному обеспечению от здоровых детей. Содержание селена и йода в волосах у этой группы детей в 1,5–2 раза ниже, чем в группе здоровых детей и в 2–3 раза ниже, чем нижние показатели нормативных значений. Низкое содержание йода в организме обусловлено недостаточным употреблением йодированной соли у 50–60 % обследованных детей-школьников и беременных женщин практически во всех обследованных регионах. У детей с сонографическими признаками АИТ, установлен выраженный йодно-селеново-цин-

ковый дефицит, который может быть одной из причин снижения уровня антиоксидантной защиты организма и одним из основных факторов ответственных за формирование АИТ в различных регионах Беларуси.

In children with sonographic signs of AIT from the settlements of Vitebsk and Minsk regions, a reduced content of both iodine and selenium and zinc in the body was revealed, which is a distinctive feature of microelement provision from healthy children. The content of selenium and iodine in the hair of this group of children is 1.5–2 times lower than in the group of healthy children and 2–3 times lower than the lower indicators of normative values. The low content of iodine in the body is due to the insufficient intake of iodized salt in 50–60 % of the surveyed school children and pregnant women in almost all the regions surveyed. In children with sonographic signs of AIT, a pronounced iodine-selenium-zinc deficiency has been established, which may be one of the reasons for the decrease in the level of antioxidant protection of the body and one of the main factors responsible for the formation of AIT in various regions of Belarus.

Ключевые слова: содержание йода, цинка и селена в организме, аутоиммунный тиреоидит, дети, беременные женщины.

Keywords: content of iodine, zinc and selenium in the body, autoimmune thyroiditis, children, pregnant women.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-110-114>

Республика Беларусь является одной из 130 стран мира, в которых по определению ВОЗ, йододефицитные заболевания представляют собой глобальную проблему здравоохранения вследствие их повсеместной распространенности. Широкомасштабные работы по изучению и профилактике зубной эндемии, проведенные на протяжении 90-х годов прошлого века и начала настоящего, позволили значительно снизить в нашей республике распространенность и тяжесть клинических проявлений зоба [1].

В Беларуси решение поставленной задачи – ликвидация йодного дефицита была обеспечена в результате внедрения подзаконных актов и последующем принятии Закона № 217-3 от 29.06.2003 г. «О качестве и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека», что обеспечило достижение уровня адекватного потребления йода с продуктами питания.

Несмотря на то, что йодный дефицит в Беларуси ликвидирован, рост показателей заболеваемости щитовидной железой в республике продолжается, что свидетельствует о том, что кроме йодного дефицита существуют другие природные факторы, способствующие персистенции патологии щитовидной железы [2]. Как установлено в настоящее время, дисбаланс микроэлементов, формирующийся в организме, в результате поступления недостатка/или избытка таких микроэлементов как йод, селен, железо и в меньшей степени – магний, цинк и медь, является экологическими факторами, влияющими на формирование патологии щитовидной железы [3]. Селен, являясь активным центром ферментов дейодиназ, регулирующих синтез активного Т3 из неактивного Т4 в крови, а также переводящих Т4 в неактивную форму гормона –реверсивный Т3. Кроме того селен входит в активный центр другого фермента – глутатионпероксидазы, защищающего щитовидную железу и организм в целом от оксидативного стресса, инактивируя перекись водорода и свободные радикалы [4]. При дефиците селена формируется недостаток дейодиназ, снижается образование Т3, приводящее к стимуляции гипоталамо-гипофизарной системы и увеличению синтеза тиреотропного гормона, который в свою очередь стимулирует образование перекиси водорода в железе, что вызывает развитие фиброза [5]. В популяционном исследовании, проведенном Wu et al. [6], установлено, что в регионе с достаточным потреблением селена статистически реже встречается субклинический гипотиреоз, манифестный гипотиреоз и аутоиммунный тиреоидит. Недостаток селена в организме в сочетании с дефицитом йода ассоциирован с повышенным риском как диффузного, так и узлового зоба [7]. Литературные данные о содержании селена в продуктах питания жителей Беларуси, свидетельствующие о том, что его концентрация в 10-50 раз ниже, чем в аналогичных продуктах из России и Украины и среднее ежедневное потребление селена в Беларуси может быть в 4–5 раз ниже, чем рекомендовано ВОЗ [8]. Изучению обеспеченности организма населения Беларуси селеном посвящены ряд исследований крупных научных школ республики [9]. Во всех проведенных исследованиях выявлено разноуровневое снижение содержание селена в организме обследованных жителей.

Цель настоящего исследования – изучение обеспеченности микроэлементами селен, йод, железо и цинк детского населения и беременных женщин как в норме, так и при развитии аутоиммунного тиреоидита (АИТ).

Материалы и методы исследования. Исследования 2018–2021 гг. проводились в группах детей в возрасте 9–12 лет, обоих полов, включали 50 практически здоровых детей и 50 детей с установленным аутоиммунным тиреоидитом (АИТ). Вторую группу обследованных составляли 50 практически здоровых беременных женщин и 50 – с АИТ-ом. Всего обследовано 200 человек, проживающих в 2 населенных пунктах Беларуси.

Степень обеспеченности йодом организма устанавливалась по содержанию йода в утренней порции мочи, который определялся спектрофотометрическим церий-арсеничным методом, рекомендованным ВОЗ. Статус тиреоидной системы оценивался по УЗИ щитовидной железы с использованием портативного сканера «Медисон», оснащенного линейным датчиком 7,5 Мгц. Оценка поступления йода в организм оценивалась методом анкетирования.

рования. Содержание микроэлементов: селена и цинка определяли в образцах волос методом рентгено-флуоресцентного анализа, с использованием спектрометра «Elva X».

Статистическая обработка проводилась методом непараметрической статистики с расчетом медианы вариационных рядов.

Полученные результаты. Для выяснения степени достоверности происходящих изменений показателей заболеваемости АИТ за 2007–2018 гг. данные были взяты из публикации материалов официальной статистики Минздрава РБ (Сравнительная характеристика деятельности эндокринологической службы Республики Беларусь 2007–2018 гг.). Для вычисления достоверности динамики указанные показатели по времени были разделены на две группы 2007–2012 гг. и 2013–2018 гг. При сравнении этих двух групп установлен достоверный рост показателей первичной заболеваемости АИТ у детей (на 100 тыс.) в Брестской области с 50,97 до 75,46 ($P=0,01$) и Гродненской области с 36,47 до 62,00 ($P=0,025$), при отсутствии достоверных изменений изученного параметра в республике в целом.

Отсутствие достоверных изменений показателей заболеваемости АИТ за изученные периоды времени в Минской и Витебской областях, заставило нас провести более детальный анализ динамики показателей заболеваемости в некоторых населенных пунктах этих областей.

Как представлено в Таблице 1 несмотря на то, что на уровне областных показателей в Витебской области установлена тенденция к снижению показателя заболеваемости АИТ у детей, в г. Верхнедвинске выявлен достоверный его рост на 66,5%. Аналогичные результаты получены и в Минской области, в г. Любань, где установлен рост этого показателя у детей на 60,5% за последние десять лет.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости АИТ (на 100 тыс. детей) в периоды 2007–2011 гг. и в 2012–2018 гг. в населенных пунктах Витебской и Минской областей и в Беларуси в целом

№	Область	$M \pm m$, 2007-2011 гг.	$M \pm m$, 2012-2018 гг.	Уровень достоверности
1.	Витебская область	44,7 $\pm$ 0,43	31,4 $\pm$ 5,53	$P=0,78$; $n=7$, не дост. ↓
2.	г. Дубровно	28,6 $\pm$ 3,78	26,5 $\pm$ 7,74	$P=0,25$; $n=7$, не дост.
3.	г. Верхнедвинск	38,3 $\pm$ 6,76	57,6 $\pm$ 6,53	$P=0,05$ $n=7$, дост. ↑
1.	Минская область	32,3 $\pm$ 5,48	36,8 $\pm$ 17,94	$P=0,25$; $n=7$, не дост. ↑
2.	г. Мядель	24,7 $\pm$ 4,98	36,5 $\pm$ 5,54	$P=0,25$; $n=7$, не дост. ↑
3.	г. Любань	35,4 $\pm$ 5,86	58,6 $\pm$ 8,43	$P=0,05$ $n=7$, дост. ↑
5.	Беларусь	47,6 $\pm$ 3,67	46,13 $\pm$ 1,24	$P=0,65$; $n=7$, не дост.

Аналогичным образом показатели заболеваемости АИТ среди беременных женщин выросли на 39,5 % за предыдущее десятилетие в г. Верхнедвинске, и на 35,4 % – в г. Любань. Эти результаты показали, что распространенность АИТ значительно шире, чем это представлено в статистических данных на уровне области.

Полученные результаты явились основанием для более детального обследования обеспечения микроэлементами йода, цинка и селена в формировании начальных признаков АИТ у детей, для выяснения закономерностей между дисбалансом микроэлементного статуса селена и йода в организме и показателями формирования аутоиммунного тиреоидита у детей школьного возраста в различных регионах Беларуси.

Результаты по содержанию селена и цинка в волосах, значение медианы содержания йода в моче, медиана объема щитовидной железы и частота употребления в пищу йодированной соли у детей школьного возраста из г. Верхнедвинска (Витебская область) и г. Любани (Минская область) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание селена и цинка в волосах, значение медианы (Me) содержания йода в моче, медиана (Me) объема щитовидной железы и частота употребления в пищу йодированной соли у здоровых детей и детей с диагнозом АИТ школьного возраста из г. Верхнедвинска и г. Любани

Дети	Кол-во детей, чел.	Содержание селена (мкг/кг)	Me цинка в Мкг/л	Me йода Мкг/л	Me объем щж, мл	Употребление йодир. соли %
Здоровые						
Верхнедвинск	25	0,38 $\pm$ 0,15	180,3	206,1	6,6	73,0
Любань	25	0,33 $\pm$ 0,09	157,3	193,7	8,3	76,0
АИТ						
Верхнедвинск	25	0,24 $\pm$ 0,05	120,4	98,7	8,8	56,0
Любань	25	0,21 $\pm$ 0,08	115,2	93,9	9,8	50,0

Как представлено в Таблице 2, у здоровых детей г. Верхнедвинска обнаружено пограничное (на нижней границе нормы) селеновое и цинковое обеспечение со средним значением содержания селена равным 0,38 $\pm$ 0,15 мкг/кг при нормативных значениях 0,3–1,2 мкг/кг и цинка 180,3 $\pm$ 12,5 мкг/кг при нормативных значениях 120–250 мкг/кг.

У здоровых детей г. Любани установлены аналогичные показатели обеспечения микроэлементами. В тоже время, у детей г. Верхнедвинска с сонографическими признаками АИТ обнаружена тенденция к снижению содержания селена со средним значением его содержания равным $0,24 \pm 0,05$ мкг/кг, которое составляет 80% от нижней границы нормы, а содержание цинка находится на границе нормальных значений. Также и у детей из г. Любани установлено сниженное содержание всех исследованных микроэлементов: селена, цинка и йода. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о дефиците селена и йода в организме школьников из г. Верхнедвинска и г. Любани с сонографическими признаками АИТ по сравнению со здоровыми детьми.

Данные по состоянию селеновой, цинковой и йодной обеспеченности, медианы содержания йода в моче, встречаемости зоба и медиана объем щитовидной железы у беременных женщин из г. Верхнедвинска (Витебская область) и г. Любани (Минская область) представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Содержание селена и цинка в волосах, значение медианы (Me) содержания йода в моче, медиана (Me) объема щитовидной железы и частота употребления в пищу йодированной соли у здоровых беременных женщин и беременных женщин с диагнозом АИТ из г. Верхнедвинска и г. Любани

Беременные женщины	Кол-во чел.	Содержание селена (мкг/кг)	Me цинка в Мкг/г	Me йода Мкг/л	Me объем щж, мл	Употребление йодир. соли %
Здоровые						
Верхнедвинск	25	$0,65 \pm 0,18$	230,5	177,2	17,3	72,0
Любань	25	$0,43 \pm 0,14$	121,3	110,8	18,4	83,0
АИТ						
Верхнедвинск	25	$0,38 \pm 0,08$	195,6	120,3	18,8	68,0
Любань	25	$0,32 \pm 0,09$	163,3	114,8	21,7	45,0

Как представлено в Таблице 3, у здоровых беременных женщин из Верхнедвинска обнаружено достаточное селеновое и цинковое обеспечение со средним значением содержания селена равным $0,65 \pm 0,18$ мкг/кг при нормативных значениях 0,3–1,2 мкг/кг и цинка 230,5 мкг/г при нормативных значениях 120–250 мкг/г. Значение медианы йода установлено равным 177,2 мкг/л. В тоже время, у женщин с сонографическими признаками АИТ обнаружена тенденция к снижению содержания селена со средним значением его содержания равным $0,38 \pm 0,08$ мкг/кг, которое находится на нижней границе нормы, так же как и содержание цинка, которое так же находится на границе нормальных значений. Однако содержание йода снижено при сопоставлении с нормативами ВОЗ (250–400 мкг/л) как у здоровых, так и более выражено у больных АИТ-ом женщин. У беременных женщин из г. Любани выявлены аналогичные, только более выраженные изменения в содержании изученных микроэлементов (Таблица 3). Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о дефиците йода, селена и цинка в организме как здоровых беременных женщин, так и женщин с сонографическими признаками АИТ в г. Верхнедвинск и г. Любань.

Впервые установлен достоверный рост частоты встречаемости первичных признаков АИТа у детей школьного возраста на фоне многолетней успешной йодной профилактики не только у детей из Гродненской и Брестской областей, но и в населенных пунктах Витебской и Минской областей, что ассоциировано со значительным снижением содержания в их организме микроэлемента селена (в 2–2,5 раза) и с выявленной закономерностью – снижением содержания йода (в 1,5–2,0 раза) у этой категории детей. Установлена тесная обратная корреляционная зависимость между содержанием селена и йода в организме у детей и значением статистических показателей заболеваемости АИТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского Фонда Фундаментальных Исследований по теме «Особенности формирования микроэлементного статуса селена, цинка и йода у беременных и детей раннего возраста Туркменистана и Беларуси» при выполнении Международного Белорусско-Туркменского научного проекта по договору № Б20МС-001 от 04 мая 2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 484 от 6 апреля 2001 г. «О предупреждении заболеваний, связанных с дефицитом йода», Мн., 2001.
2. Кубасова Е.Д. Физиологическая характеристика биоэлементного статуса и его влияние на состояние щитовидной железы детей Архангельской области / Е.Д. Кубасова // Автореферат, дис. к.б.н. Архангельск. – 2007. – 18 с.
3. Zimmermann M.B. The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health / M.B.Zimmermann, J.Kohrle // Thyroid. – 2002.-Oct. 12 (10). P.867-878.
4. Schomburg L., Selenium, selenoproteins, and thyroid gland: interactions in health and disease / L.Schomburg // Nature reviews endocrinology. – 2012. – Vol 8(3). – P.160–171.
5. Why is thyroid so prone to autoimmune disease? / L.Saranac [и др.] // Hormone research in pediatrics. – 2011. – Vol. 75(3). – P.157–165.

6. Low population selenium status is associated with increased prevalence of thyroid disease/Q.Wu [и др.] // J Clin Endocrinol Metab. – 2015. – Vol. 100. – P. 4037–4047.
7. Selenium status, thyroid volume, and multiple nodule formation in area with iodine deficiency/ L.B. Rasmussen [и др.] // European Journal of Endocrinology. – 2011. – Vol. 164(4). – P. 585–590.
8. *Мойсеев Е.А.* Гигиеническая оценка обеспеченности организма человека микроэлементом селена // Гигиенические проблемы профилактики и радиационной безопасности. Гродно, ГрГМУ, 2011, с.187–194.
9. Обеспеченность йодом и селеном жителей Республики Беларусь: медико-экологические аспекты / Т.В.Мохорт [и др.] //Биоэлементный статус населения Беларуси: Экологические, физиологические и патологические аспекты. Под ред.Н.А.Гресь, А.В.Скального. Минск. – 2011. – С.174–201.

**АЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ЖИТЕЛЕЙ
НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА ГОРОДНАЯ СТОЛИНСКОГО Р-НА БРЕСТСКОЙ ОБЛ.,
ПОСТРАДАВШЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

**ANALYSIS OF THE THYROID GLAND INCIDENCE RATE
IN GORODNAYA RESIDENTS, STOLIN DISTRICT, BREST REGION, WHICH SUFFERED
AS A RESULT OF THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT**

**Е. А. Печуро^{1,2}, В. А. Кравченко^{1,2}, А. Н. Батян^{1,2}, С. В. Петренко^{1,2}
Е. А. Pechuro^{1,2}, A. N. Batian^{1,2}, V. A. Kravchenko^{1,2}, S. V. Petrenko^{1,2}**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by, kravchenko.v.anat@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

На начало 2020 года выявлен 71 пациент с заболеваниями щитовидной железы (узловой зоб, послеоперационный гипотиреоз, тиреотоксикоз, гипотиреоз, рак щитовидной железы) среди которых 14% мужчин и 86 % женщина. Рак щитовидной железы диагностирован у 7 человек, в том числе у 1 мужчины и 6 женщин, что составило 14,3 % и 85,7 % соответственно. В структуре заболеваемости на узловой зоб (26 случаев) приходится 37 %, на послеоперационный гипотиреоз (17 случаев) – 24 %, на первичный гипотиреоз (15 случаев) – 21 %, на тиреотоксикоз (6 случаев) – 8 %, на рак (7 случаев) – 10 %. Наиболее распространенной патологией щитовидной железы в исследуемом населенном пункте является узловой зоб. Наиболее высокие показатели заболеваемости зарегистрированы среди мужчин в возрасте 51–60 лет, а среди женщин – в возрастных группах 51–60 лет и 61–70 лет. Одной из возможных причин возникновения узлового зоба является инкорпорация радиоioda на фоне йодного дефицита у этой категории населения.

At the beginning of 2020, 71 patients with thyroid diseases (nodular goiter, postoperative hypothyroidism, thyrotoxicosis, hypothyroidism, thyroid cancer) were identified, among which 14 % are men and 86 % are women. Thyroid cancer was diagnosed in 7 people, including 1 man and 6 women, which was 14.3 % and 85.7%, respectively. In the structure of morbidity, nodular goiter (26 cases) accounts for 37 %, postoperative hypothyroidism (17 cases) – 24 %, primary hypothyroidism (15 cases) – 21 %, thyrotoxicosis (6 cases) – 8 %, cancer (7 cases) – 10%. The most common pathology of the thyroid gland in the study settlement is nodular goiter. The highest incidence rates were among men aged 51–60 years, and among women – in the age groups 51–60 years and 61–70 years. One of the possible reasons for nodular goiter incidence rate increasing is radioactive iodine incorporation at the stable iodine deficiency in this population.

Ключевые слова: населённый пункт Городная, йод-131, цезий-137, заболевания щитовидной железы.

Keywords: settlement Gorodnaya, iodine-131, cesium-137, thyroid diseases.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-114-117>

В результате Чернобыльской катастрофы изотоп I-131($T_{1/2} = 8$ суток) был одним из главных источников облучения населения, который прежде всего инкорпорировался в щитовидную железу. Самыми облученными

жителями Беларуси оказались дети и подростки, особенно дети в возрасте до 7 лет. Результаты прямых измерений 1986 г. показали, что около 30 % детей в возрасте до 2 лет получили дозы выше 1 Гр. В наиболее загрязненных сельских населенных пунктах средние дозы облучения щитовидной железы детей младших возрастов достигали 3 Гр и более. Коллективная доза облучения щитовидной железы у жителей Беларуси в «йодный» период составила более 500 тыс. чел./Гр [1].

Облучение щитовидной железы продолжается и после йодного периода, хотя и в гораздо меньших дозах, за счет внешнего и внутреннего воздействия радиоактивного цезия. За послеаварийный период коллективная доза облучения щитовидной железы за счет радиоцезия у жителей республики составила более 21 тыс. чел./Гр. Наиболее актуальна медицинская проблема, возникшая в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции, является проблема тиреоидной патологии, в частности рака щитовидной железы.

До недавнего времени рак щитовидной железы считался редким заболеванием в детском возрасте. В до-аварийный период в Беларуси рак щитовидной железы встречался как спорадическое заболевание по 1–2 случая в год и составлял менее 0,5 % всех злокачественных опухолей у детей. Однако после аварии на Чернобыльской АЭС заболеваемость раком щитовидной железы у детей резко возросла, особенно в пострадавших районах. Резкий рост заболеваемости среди детей и подростков начался в 1990–1991 гг. и отмечался до 1994–1995 гг., затем произошло снижение заболеваемости среди детей при постоянном нарастании числа случаев в подростковом возрасте. К концу 2003 года в Беларуси зарегистрировано 744 ребёнка и 452 подростка, прооперированных по поводу рака щитовидной железы [2].

Заболеваемость растет дальше, что обусловлено многими факторами, среди которых особенно важными являются дефицит йода, повышенный радиационный фон и загрязнение окружающей среды.

Поэтому патология щитовидной железы требует пристального научного анализа [3].

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС значительному загрязнению подверглась Брестская область. В большей степени пострадали Столинский, Лунинецкий, Пинский и Дрогичинский районы. В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11.01.2016 №9 «Об утверждении перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения» к зонам радиоактивного загрязнения отнесены 104 населенных пункта Брестской области [4]. В Столинском районе 47 населенных пунктов включены в перечень тех, которые находятся в зонах радиоактивного загрязнения. Из них 42 населенных пункта отнесены к зоне проживания с периодическим радиационным контролем и 5 населенных пунктов к зоне с правом на отселение.

Населенный пункт Городная, отнесён к зоне проживания с периодическим радиационным контролем. Относится к территории с плотностью загрязнения почв Cs -137 менее $1,85 \times 10^{11}$ Бк (5 Ки/км²), либо Sr-90 до $1,85 \times 10^{10}$ (0,5 Ки/км²), или Pu-238, 239, 240 менее $7,4 \times 10^8$ Бк (0,02 Ки/км²), где среднегодовая эффективная доза облучения населения не должна превышать 1 мЗв/год.

В настоящее время мощность амбиентного эквивалентна дозы на территории Брестской области соответствует гигиеническим нормативам и составляет 0,08–0,14 мкЗв/час.

В 2020 взрослое население деревни Городная Столинского района Брестской области составляло 1239 человек, численность детей и подростков составляет 62 человека.

Населённый пункт Городная расположен в Столинском районе Брестской области и со всех сторон окружен ягодно-грибными лесами и болотами. Основным источником радиационного загрязнения лесных грибов и ягод, мяса диких животных, которые местное население продолжает использовать в пищу является цезий-137. Поступление в организм человека загрязненных радиоцезием грибов, ягод или мяса животных может формировать эффективную дозу облучения до 10–12 мЗв в год, которая значительно превышает установленную санитарно-гигиеническую норму, согласно которой: «Уровни облучения от потребления пищевых продуктов и питьевой воды, также как и уровни облучения вследствие наличия радионуклидов в строительных материалах, не должны превышать основного предела дозы облучения для населения – 1 мЗв в год. При проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв» [5,6].

Для контроля доз внутреннего облучения граждан территориальными учреждениями здравоохранения ежегодно проводится обследование населения на спектрометрах излучения человека (СИЧ). В 2019 году в населённом пункте Городная на СИЧ обследовано 1085 человек. Повышение допустимых уровней внутреннего облучения (более 1 мЗв) не выявлено ни у одного человека. Однако опасность радиационного воздействия на жителей остается до настоящего времени при условии употреблении в пищу лесных грибов и ягод без проведения радиационного контроля качества этой продукции.

Цель работы – проанализировать заболеваемость щитовидной железы у жителей населённого пункта Городная Столинского района Брестской области, расположенного на территории загрязнённой радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС с 2017 до 2020 гг.

Материалы и методы исследования. В исследование были включены данные о 71 пациенте, полученные из отчетных документов по участку Городнянской амбулатории врача общей практики (АВОП) и журнала учета диспансерных больных, которые состоят на диспансерном с патологией щитовидной железы: 26 пациентов с узловым зобом, 17 пациентов с послеоперационным гипотиреозом, 15 пациентов с первичным гипотиреозом, 6 человек с тиреотоксикозом, 7 человек с раком щитовидной железы.

Первичная заболеваемость рассчитывалась по формуле:

$$\text{Первичная заболеваемость} = \frac{\text{число вновь возникших заболеваний}}{\text{средняя численность населения}} * 1000 \text{ ‰}.$$

Болезненность, которая регистрировалась по всем статистическим талонам уточненных диагнозов, уч. ф. 025-2/у), рассчитывалась по формуле:

$$\text{Распространенность} = \frac{\text{число всех заболеваний за год}}{\text{средняя численность населения}} * 1000 \text{ ‰}.$$

В составе обследованного населения – 17 человек (24 % от общего числа пациентов с заболеваниями щитовидной железы), состоит на диспансерном учете у эндокринолога, из них 4 человека с установленной онкопатологией щитовидной железы.

Полученные результаты. На начало 2020 года зарегистрированы 71 пациент с заболеваниями щитовидной железы (узловой зоб, послеоперационный гипотиреоз, тиреотоксикоз, гипотиреоз, рак щитовидной железы). Пациенты направлялись на консультацию в Брестский областной эндокринологический диспансер, выполнялись пункционные биопсии узловых образований. По результатам пункций подтвержден диагноз рака щитовидной железы у 7 пациентов. Было проведено 17 тиреоидэктомий, в том числе при раке щитовидной железы – 7; при доброкачественных заболеваниях – 10.

Впервые выявленные случаи заболеваемости щитовидной железы за период с 2016 по 2020 год представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели первичной заболеваемости щитовидной железы, ‰

Нозологическая единица	2016	2017	2018	2019	2020
Общий	4,16	3,57	4,41	5,19	6,14
Узловой зоб	1,39	2,85	1,47	2,97	3,07
Послеоперационный гипотиреоз	1,39	0,71	0,73	0,74	0,77
Первичный гипотиреоз	0	0	1,47	0,74	1,54
Тиреотоксикоз	0,69	0	0	0,74	0,77
Рак	0,69	0	0,73	0	0

Согласно данным приведённым в таблице, происходит рост выявляемости патологии щитовидной железы. Например, такие заболевания как узловой зоб, послеоперационный гипотиреоз регистрируются каждый год. Несмотря на падение численности населения, первичная заболеваемость по каждой нозологической единице выросла (за исключением заболеваний раком). Наиболее существенно увеличились случаи узлового зоба - в 2,2 раза.

Для более точного представления картины по первичной заболеваемости щитовидной железы по Городнянской АВОП рассчитан среднегодовой темп прироста. По нашим расчётам среднегодовой темп прироста общей первичной заболеваемости щитовидной железы за 2016–2020 годы составил 5,92 %.

Более устойчивым показателем по отношению к различным влияниям окружающей среды является показатель болезненности (распространенности заболеваний). Этот показатель дает представление как о новых случаях, так и о заболеваниях ранее диагностируемых, с обострением которых население обратилось в данном календарном году. Показатели распространенности заболеваемости представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели распространенности заболеваемости, ‰

Нозологическая единица	2016	2017	2018	2019	2020
Общая	32,6	36,4	41,15	46,77	54,57
Узловой зоб	9,72	11,4	13,23	16,33	19,98
Послеоперационный гипотиреоз	9,02	9,98	11,02	11,88	13,07
Первичный гипотиреоз	6,94	7,13	8,82	9,65	11,53
Тиреотоксикоз	2,78	2,85	2,93	3,71	4,61
Рак	4,16	4,23	5,14	5,19	5,38

Для составления структуры заболеваемости щитовидной железы рассчитана доля каждой нозологической единицы среди всех заболеваний щитовидки как часть от целого. Эти показатели были рассчитаны в общем и для каждой возрастной группы отдельно. Таким образом, если общая численность патологии составляет 71 случай, что составляет 100 %, то в структуре заболеваемости на узловой зоб (26 случаев) приходится 37 %, на

послеоперационный гипотиреоз (17 случаев) – 24 %, на первичный гипотиреоз (15 случаев) – 21 %, на тиреотоксикоз (6 случаев) – 8 %, на рак (7 случаев) – 10 %.

Наиболее распространенной патологией щитовидной железы в исследуемой местности является узловой зоб. Значительное место в структуре заболеваемости во всех возрастных категориях занимает гипотиреоз, первичный и послеоперационный. Послеоперационный гипотиреоз характерен для взрослого населения. Рост послеоперационного гипотиреоза связан с ростом числа новообразований, доброкачественных и злокачественных.

Анализ данных показал, что узловой зоб встречается у 3 мужчин, что составляет 30%. Послеоперационный и первичный гипотиреоз и тиреотоксикоз встречается по 2 случая, что составляет в структуре заболеваемости по 20 % на долю каждой патологии, и рак щитовидной железы встречается только у одного мужчины и это 10 % от числа всех случаев. Среди женщин патология щитовидной железы встречается в 61 случае. На долю узлового зоба приходится 23 случая, т.е. 38 %, послеоперационный гипотиреоз встречается у 15 женщин, что составляет 25 %, первичный гипотиреоз – 13 случаев или 21 %, тиреотоксикоз встречается у 4 женщин и составляет 7 %, рак диагностирован у 6 женщин, что составляет в структуре заболеваемости 10 %.

Для составления структуры заболеваемости щитовидной железы рассчитана доля каждой нозологической единицы среди всех заболеваний щитовидной как часть от целого. Согласно проведенным расчетам в структуре заболеваемости на узловой зоб (26 случаев) приходится 37 %, на послеоперационный гипотиреоз (17 случаев) – 24 %, на первичный гипотиреоз (15 случаев) – 21 %, на тиреотоксикоз (6 случаев) – 8 %, на рак (7 случаев) – 10 %.

Расчет экстенсивных показателей для каждой возрастной группы привел к следующим результатам:

Дети 0-14 лет: численность случаев заболеваемости среди детского населения в возрасте 0–14 лет составляет 2, это 1 случай первичного гипотиреоза и 1 случай узлового зоба, на каждый случай в структуре приходится по 50 %.

Подростки 15–18 лет: среди подростков заболевания щитовидной железы встречаются у двоих детей с диагнозом узловой зоб. Так в структуре узловой зоб занимает 100 %.

Взрослое население (старше 18 лет): узловой зоб – 23 случая, что составляет 34 %, послеоперационный гипотиреоз-17 случаев и 25 %, первичный гипотиреоз – 14 случаев среди взрослых, что составляет 21 %, тиреотоксикоз-6 случаев, а это 9 %, и рак 7 случаев и 10 %.

Среди 71 диспансерных пациентов 14 % мужчин и 86 % женщин. Таким образом, патология щитовидной железы среди женщин встречается в 6,1 раз чаще, что соответствует данным литературы.

Заключение. Анализируя структуру заболеваний щитовидной железы среди мужчин и женщин следует отметить, что узловой зоб преобладает среди других патологий как у мужчин, так и у женщин. На долю гипотиреоза приходится примерно одинаковая доля случаев среди мужчин и женщин. По данным исследования на 2020 год, раком щитовидной железы в деревне заболело 7 человек - 1 мужчина и 6 женщин, что составило 14,3 % и 85,7 % соответственно, что еще раз подчеркивает, что заболеваемость среди женщин в 6 раза выше, чем среди мужчин.

При анализе повозрастных показателей заболеваемости щитовидной железы определено, что наиболее высокие показатели заболеваемости среди мужчин зарегистрированы в возрасте 51–60 лет, а среди женщин - в возрастных группах 51–60 лет и 61–70 лет. Среди детей и подростков патология щитовидной железы встречается в единичных случаях. В возрасте 21–30 лет патология щитовидки зарегистрирована у одного человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков, В.И. Чернобыль и здоровье будущих поколений. В сб. Чернобыль: долг и мужество / В.И. Кулаков, Т.Н. Сокур, И.С. Цыбульская. – М.: Ин-т стратегич. Стабильн. Минатома РФ, 1997. – Т. 1. – 230 с.
2. Тронько Н.Д. Щитовидная железа и радиация (фундаментальные и прикладные аспекты: 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС) / Н.Д. Тронько //Международный эндокринологический журнал – 2(4) 2006 <http://www.mif-ua.com/archive/article/2141>
3. Молекулярная и клеточная радиационная биология: учебное пособие/А.Н. Батян, И.Э. Бученков, Н.Г. Владова, Н.В. Герасимович, В.А. Кравченко, С.Б. Мельнов, И.В. Пухтеева.-Минск: Вышэйшая школа, 2021. – 238 с.
4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 11 января 2016 г. № 9 Об утверждении перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, и признании утратившими силу некоторых постановлений Совета Министров Республики Беларусь Национальный <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C21600009> (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь.).
5. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности» Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28.12.2012 № 213. <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W21326850p> (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 59 с).
6. Закон Республики Беларусь о радиационной безопасности https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/533/zakon_198_3.pdf

МАРКЕРЫ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В КРОВИ ЖЕНЩИН В ПЕРИОД ПРЕ- И ПОСТМЕНОПАУЗЫ

MARKERS OF OXIDATIVE STRESS IN THE WOMEN'S BLOOD OF PRE- AND POSTMENOPAUSAL PERIOD

В. Климович^{1,2}, В. М. Писарук^{1,2}

V. Klimovich^{1,2}, V. M. Pisaryk^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
pisaryk@tut.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Наступление менопаузы сопровождается изменениями в организме женщины. Некоторые из симптомов могут усложнить их повседневную жизнь и даже стать причиной появления различных заболеваний. В последнее время всё больше внимания обращается на благотворное влияние физической активности для минимизирования негативных последствий менопаузы. Это дешёвый, общедоступный и малоинвазивный способ профилактики и лечения проблем, связанных с климактерическим периодом. По результатам работы, представленным в данной статье, установлено, что соотношение маркеров оксидативного стресса и антиоксидантной защиты в крови наиболее благоприятно у женщин в период пре-и постменопаузы, регулярно занимающихся аэробной физической активностью с частотой, равной или превышающей 3 раза в неделю.

The onset of menopause is accompanied by changes in the woman's body. Some of the symptoms can complicate their daily life and even cause the appearance of various diseases. Recently, more and more attention has been paid to the beneficial effects of physical activity to minimize the negative effects of menopause. This is a cheap, publicly available and minimally invasive way to prevent and treat problems associated with menopause. According to the results of the work presented in this article, it was found that the ratio of markers of oxidative stress and antioxidant protection in the blood is most favorable in pre- and postmenopausal women who regularly engage in aerobic physical activity with a frequency equal to or exceeding 3 times a week.

Ключевые слова: менопауза, физическая активность, оксидативный стресс, ТБК-активные продукты, окислительно-модифицированные белки, общая антиоксидантная активность, каталаза, церулоплазмин.

Keywords: menopause, physical activity, oxidative stress, TBA-active products, oxidatively modified proteins, total antioxidant activity, catalase, ceruloplasmin.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-118-121>

Введение. Согласно определению Всемирной организации здравоохранения, менопауза – это окончательное прекращение менструации из-за потери фолликулярной активности в яичниках, после которой в течение 12 месяцев не было кровотечения. Обычно это происходит у женщин в возрасте от 44 до 56 лет. Исследования показывают, что симптомы надвигающейся менопаузы начинаются в среднем около 47 лет и длятся около 4 лет. В период пременопаузы женщина испытывает различные симптомы, которые появляются спонтанно, но не опасны для жизни. У некоторых из них симптомы легкие, но часто неприятные и могут стать причиной усложнения повседневной жизни женщины. Не все изменения, вызванные менопаузой или старением, можно предотвратить. Тем не менее, можно минимизировать их негативное влияние. С этой целью чаще всего используют гормональную терапию, забывая о благотворном влиянии физических упражнений [1].

Задача физической активности – как можно дольше поддерживать физическую форму и физическую работоспособность на соответствующем психофизическом уровне. Кроме того, систематическая физическая активность должна укреплять мышечную силу, увеличивать аэробные способности и улучшать гибкость, баланс и координацию движений. Поэтому программа упражнений должна включать: упражнения на силу, выносливость и растяжку. Благодаря модификациям, которые физическая активность вносит в организм женщины, легче бороться с ожирением и его последствиями. Физические упражнения снижают риск метаболического синдрома или развивающийся рак груди и эндометрия. Качество жизни, сниженное из-за нарушений, вызванных менопаузой

и процессами старения, повышается у активных людей. Каждой женщине в постменопаузе рекомендуется заниматься физической активностью в свободное время [2].

С увеличением метаболической активности во время упражнений потребление кислорода и электролитов из митохондриальной цепи переноса электронов увеличивается, что, в свою очередь, приводит к производству активных форм кислорода (АФК), включая гидроксильные радикалы, пероксиды и перекись водорода. Многие исследования показывают, что динамическая физическая активность может влиять на баланс между производством и инактивацией АФК. Пожизненные дефекты, вызванные АФК в митохондриях в процессе митохондриального дыхания, оказывают большое влияние на многие механизмы клеточного гомеостаза [3].

Интересным фактом является то, что мышцы женских особей менее чувствительны к повреждению, вызванному АФК, а у животных самки испытывают окислительный стресс из-за физических упражнений только в ограниченной степени или совсем не испытывают. По-видимому, это может быть связано с антиоксидантными свойствами женских половых гормонов, в основном, производных эстрадиола [4].

Биохимические механизмы, благодаря которым ежедневная физическая активность приносит положительные результаты, недостаточно изучены. Отдельная серия упражнений средней интенсивности и большой продолжительности или относительно короткой продолжительности и высокой интенсивности может привести к увеличению содержания маркеров окислительного стресса. Предположительно регулярная физическая активность вызывает адаптивные реакции в репаративной и антиоксидантной системах, и совокупные результаты этих изменений способствуют усилению защиты от АФК и снижению накопления окислительного повреждения [5].

Окислительный стресс – это нарушение баланса между системой антиоксидантной защиты и интенсивностью окислительных процессов, вызывающих АФК. Длительный или повышенный окислительный стресс вреден для клеток, так как он может вызывать необратимые изменения в структуре биологически важных макромолекул – ДНК, белков, липидов и углеводов. Такие изменения приводят к нарушению их биологических функций, а это является причиной нарушения клеточного метаболизма. Дисфункция липидных клеточных мембран может вызывать нарушения метаболических процессов в результате перекисного окисления липидов – быстрого процесса свободнорадикального окисления ненасыщенных липидных кислот в жирах, в котором образуются пероксиды этих соединений. Больше всего перекисному окислению подвержены остатки полиненасыщенных жирных кислот, входящие в состав фосфолипидов, которые являются важным компонентом структуры клеточных мембран. Нарушения в структуре клеточных мембран из-за неэффективности их липидных частей могут вызывать неправильный цикл метаболических процессов, осуществляемых клеткой. Дефекты этого типа являются результатом реакций перекисного окисления липидов, которые отмечаются как быстрый процесс окисления ненасыщенных жирных кислот, содержащихся в липидах, он формируется свободными радикалами кислорода [6].

Таким образом, всё вышесказанное обусловило актуальность и позволило сформулировать цель настоящей работы – изучить влияние физической активности на изменение физиологических и биохимических показателей у женщин в постменопаузе, занимающихся физической активностью и у физически неактивных женщин.

Для достижения поставленной цели решались задачи по оценке и сравнению физически активных и неактивных женщин в период пре- и постменопаузы по следующим показателям в эритроцитах и плазме крови:

- 1) уровень ТБК-активных продуктов;
- 2) уровень альдегидных производных окислительно-модифицированных белков;
- 3) уровень кетонных производных окислительно-модифицированных белков;
- 4) уровень общей антиоксидантной активности;
- 5) активность каталазы;
- 6) уровень церулоплазмينا.

Материалы и методы исследования. Оценка концентрации маркеров окислительного стресса и антиоксидантной защиты проведена у 135 женщин в возрасте от 35 до 72 лет, проживающих в Среднем Поморье (Поморское Воеводство, Республика Польша). Разрешение на проведение исследования выдано биоэтической комиссией в Кошалине.

На основании представленных лабораторных исследований из числа добровольцев были отобраны здоровые люди, а также проведено интервью-анкетирование на предмет наличия болезней, болезней в семье, физической активности и курения.

Все женщины были разделены на 4 группы:

I – 33 здоровых женщины в пременопаузе (возраст 35-50 лет), физически активные.

II – 35 здоровых женщин в пременопаузе (возраст 36-51 год), физически малоподвижные.

III – 30 здоровых женщин в постменопаузе (возраст 55-71 год), физически активные.

IV – 37 здоровых женщин в постменопаузе (возраст 33-72 года), физически малоподвижные.

Группы женщин, обозначенные как физически активные, принимали участие в организованной форме аэробной физической активности с частотой, равной или превышающей 3 раза в неделю в течение как минимум 6 недель до исследования.

Анализ уровня маркеров оксидативного стресса и антиоксидантной защиты в крови женщин выбранных групп:

1. Определение концентрации продуктов перекисного окисления липидов 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК). Это измерение предназначено для определения уровня малонового диальдегида (МДА), который является конечным продуктом окислительных изменений липидов, вызванных окислительным стрессом. Он используется,

чтобы убедиться в усилении перекисного окисления липидов. Окрашенный продукт данной реакции определяли с помощью 2-тиобарбитуровой кислоты (ТБК).

2. Определение уровня альдегидных и кетонных производных в соединениях аминокислотных остатков белков (ОМБ). Окислительная модификация белков (ОМБ) вызывает фрагментацию или денатурацию белков с частичной или полной потерей их функции. Скорость ОМБ оценивали по реакции образующихся производных карбониламинокислоты с 2,4-динитрофенилгидразином.

3. Определение уровня общей антиоксидантной активности (ОАА). Общая антиоксидантная способность (ОАА) оценивается после накопления в модельной системе конечного продукта процессов перекисного окисления липидов – ТБК и МДА. Все ферментные анализы проводили при $22 \pm 0,5^\circ\text{C}$ с использованием спектрофотометра Specol 11 (Carl Zeiss Jena, Австрия) в двух экземплярах.

4. Определение активности каталазы (КАТ, Е.С.1.11.1.6) проводилось путем измерения уменьшения H_2O_2 в реакционной смеси.

5. Определение уровня церулоплазмينا (СР, Е.С.1.16.3.1) проводилось спектрофотометром при длине волны $\lambda = 540 \text{ нм}$.

6. Исследование осмотической резистентности эритроцитов проводилось по методу Дэйта и Льюиса путём оценки чувствительности эритроцитов к лизису в результате изменения концентрации NaCl в гипотоническом растворе.

Статистический анализ был проведен с помощью стандартного пакета STATISTICA 8.0. Достоверность различия показателей сравниваемых групп оценивалась на уровне 95 % ($p < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение. Одна из важных причин негативных последствий и осложнений после наступления менопаузы – перекисное окисление липидов (ПОЛ). Об интенсивности процедур ПОЛ косвенно можно судить по количеству активных продуктов ТБК. Первичные продукты ПОЛ (гидропероксиды липидов) нестабильны и быстро разлагаются с образованием вторичных продуктов ПОЛ: альдегидов, кетонов, спиртов, эпоксидов. Среди них наиболее известен малоновый диальдегид, который является основным компонентом группы так называемых ТБК-активных веществ: всех тех веществ, которые взаимодействуют с 2-тиобарбитуровой кислотой. При попадании в организм ксенобиотиков, как правило, развиваются патологические процессы, при которых повышается перекисное окисление липидов (ПОЛ) и уровень ТБК-активных продуктов [7].

В эритроцитах крови физически неактивных женщин наибольшее содержание ТБК-активных продуктов было выявлено в период постменопаузы. В группе активных женщин содержание ТБК-активных продуктов в эритроцитах также было самым высоким в постменопаузе. Сравнивая женщин, неактивных и активных физически, в период пременопаузы, наблюдалось уменьшение ТБК-активных продуктов. Такие же изменения были показаны при сравнении женщин, физически неактивных и активных, в период постменопаузы.

В плазме крови женщин, неактивных физически, обнаружен самый высокий уровень ТБК-активных продуктов в пременопаузе. У женщин, активных физически, в свою очередь, наибольший уровень ТБК-активных продуктов в плазме крови был показан в период постменопаузы. Сравнивая группу физически неактивных женщин с активными в период пременопаузы, определено повышение уровня ТБК-активных продуктов. При сравнении женщин в постменопаузе наблюдались закономерные изменения.

Высокое содержание альдегидных производных окислительно-модифицированных белков в эритроцитах крови физически неактивных женщин было зафиксировано в период постменопаузы. В эритроцитах крови физически активных женщин высшее содержание альдегидных производных ОМБ также наблюдалось в периоде постменопаузы. Сравнивая в пременопаузе физически неактивных женщин с физически активными, показано уменьшение содержания альдегидных производных окислительно-модифицированных белков. Такие же изменения зафиксированы в период постменопаузы.

В плазме крови женщин, неактивных физически, высший уровень альдегидных производных ОМБ было показано в период постменопаузы. У женщин, совершающих умеренные физические нагрузки, уровень альдегидных производных окислительно-модифицированных белков также был выше в постменопаузальный период. Сравнивая группы женщин в пременопаузе, физически активных и неактивных, было отмечено понижение уровня альдегидных производных ОМБ. Схожие изменения наблюдались при сравнении данных групп женщин в период постменопаузы.

Высокое содержание кетонных производных окислительно-модифицированных белков в эритроцитах крови физически неактивных женщин было показано в период постменопаузы. То же самое наблюдалось у женщин, активных физически – самый высокий уровень кетонных производных ОМБ отмечен в период постменопаузы. Если сравнивать в период пременопаузы группы женщин, неактивных и активных физически, то наблюдается увеличение содержания кетонных производных окислительно-модифицированных белков. При сравнении данных групп женщин в постменопаузальный период отмечены аналогичные изменения кетонных производных ОМБ в эритроцитах крови.

В плазме крови женщин, неактивных физически, отмечен наивысший уровень кетонных производных ОМБ в период постменопаузы. У женщин, активных физически, также высший уровень кетонных производных окислительно-модифицированных белков показан в период постменопаузальный. Сравнивая между собой в период пременопаузальный группы женщин, неактивных и активных физически, наблюдалось уменьшение уровня кетонных производных ОМБ. При сравнении этих групп женщин в период постменопаузы

также выявлено понижение содержания кетонных производных окислительно-модифицированных белков в плазме крови.

У женщин, неактивных физически, в эритроцитах крови показан высокий процент общей антиокислительной активности в периоде постменопаузы. В эритроцитах крови физически активных женщин самый высокий процент ОАА был выявлен в постменопаузе. Если сравнивать между собой группу физически неактивных женщин и физически активных женщин в период пременопаузы, то видно, что процент общей антиокислительной активности повышается. То же самое наблюдалось при сравнении женщин, неактивных и активных физически, в период постменопаузы – процент ОАА в эритроцитах крови увеличивается.

В плазме крови физически неактивных женщин самый высокий процент ОАА был отмечен в период постменопаузальный. Наивысший процент общей антиокислительной активности у физически активных женщин показан в постменопаузе. Сравнивая в период пременопаузы группу женщин, неактивных физически, и группу женщин, активных физически, наблюдалось повышение процента ОАА. Схожие изменения были отмечены при сравнении групп женщин, неактивных и активных физически, в постменопаузальном периоде.

В эритроцитах крови женщин, неактивных физически, наивысшая активность каталазы была выявлена в период пременопаузы. Высокая активность каталазы в эритроцитах крови физически активных женщин наблюдалась в периоде постменопаузальном. Если сравнивать физически неактивных и активных женщин в период пременопаузы, то видно, что активность каталазы повышается. Аналогичные изменения были показаны при сравнении данных групп женщин в период постменопаузы.

В эритроцитах крови физически неактивных женщин высокий уровень церулоплазмينا был отмечен в постменопаузальный период. У женщин, активных физически, в эритроцитах крови самый высокий уровень церулоплазмينا также был выявлен в постменопаузальный период. При сравнении физически неактивных и физически активных женщин в период пременопаузы показано увеличение содержания церулоплазмينا. Сравнивая те же группы женщин в период постменопаузы, отмечены аналогичные изменения – уровень церулоплазмينا повышается.

Заключение. Результаты проведенного исследования показывают необходимость изучения влияния физической активности на изменения физиологических и биохимических показателей у женщин в постменопаузе; а также ее влияние на параметры оксидативного стресса. Вовремя найденные нарушения в системе перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты дают возможность провести мероприятия по их коррекции с целью профилактики негативных последствий менопаузы.

Менопауза – естественный процесс для каждой женщины. Психические и физические изменения, сопровождающие этот процесс, могут произойти намного раньше и продолжаться долгое время после менопаузы. У одних женщин симптомы легкие, у других – тяжелые. Физические упражнения благотворно влияют на изменения в организме женщины после менопаузы. Они помогают значительно снизить концентрацию триглицеридов, уровень глюкозы и инсулина. Благодаря им снижается артериальное давление и индекс массы тела. Они благотворно влияют на усиление мозгового кровообращения и концентрацию фракций холестерина ЛПВП. Средняя плотность костной ткани у тренирующихся людей выше, чем у неактивных людей. Благодаря модификациям, вносимым физической нагрузкой в организм женщины, легче бороться с ожирением, остеопорозом и их последствиями. Физические упражнения снижают риск метаболического синдрома, рака груди и рака эндометрия. У активных людей повышается качество жизни, сниженное из-за нарушений, вызванных менопаузой и процессами старения. Всем женщинам в постменопаузе рекомендуется заниматься умеренной физической активностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guérin E. Physical activity and perceptions of stress during the menopause transition / E. Guérin [et al.] // J. Health Psychol. – 2019. – P. 799–811.
2. Grindler N.M., Santoro N.F. Menopause and exercise / N.M. Grindler, N.F. Santoro // Menopause. – 2015. – P. 1351–1358.
3. Shadel G.S., Horvath T.L. Mitochondrial ROS signaling in organismal homeostasis / G.S. Shadel, T.L. Horvath // Cell. – 2015. – P. 560–569.
4. Persky A.M. Protective effect of estrogens against oxidative damage to heart and skeletal muscle *in vivo* and *in vitro* / A.M. Persky [et al.] // Proc. Soc. Exp. Biol. Med. – 2000. – P. 59–66.
5. Asami S. Effects of forced and spontaneous exercise on 8-hydroxydeoxyguanosine levels in rat organs / S. Asami [et al.] // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 1998. – P. 678–682.
6. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine / H. Sies // Redox Biol. – 2015. – P. 180–183.
7. Afanasev I. Detection of superoxide in cells, tissues and whole organisms. Front. Biosci. (Elite Ed.), – 2009. – 1: P. 153–160.

**СОСТОЯНИЕ ТИРОИДНОЙ СИСТЕМЫ
У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА И БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН
ОСТРОВЕЦКОГО РАЙОНА ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**THE STATE OF THE THYROID SYSTEM IN CHILDREN OF PRIMARY SCHOOL AGE
AND PREGNANT WOMEN OF OSTROVETS DISTRICT OF GRODNO REGION**

**С. В. Петренко^{1,2}, Ю. В. Жильцова^{1,2}, А. Н. Батян^{1,2}, Е. А. Рафальская^{1,2},
Т. С. Опанасенко^{1,2}, В. Ч. Можейко³, Х. Арнепесова^{1,2}, М. С. Петренко⁴**
**S. V. Petrenko^{1,2}, Yu. V. Zhiltsova^{1,2}, A. N. Batyan^{1,2}, E. A. Rafalskaya^{1,2},
T. S. Opanasenko^{1,2}, V. Ch. Mozheiko³, H. Arnepesova^{1,2}, M. S. Petrenko⁴**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by, petrenko51@yahoo.com

³Островецкая Центральная районная клиническая больница, г. Островец, Республика Беларусь

⁴ГУО СШ № 92 г. Минска, Республика Беларусь

¹*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

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

³*Ostrovets Central District Clinical Hospital, Ostrovets, Republic of Belarus*

⁴*GUO Secondary School No. 92 Minsk, Republic of Belarus*

Учитывая важную роль ряда эссенциальных микроэлементов в защите щитовидной железы от действия отрицательных антропогенных и природных факторов у критических групп населения, проживающих в зоне расположения Белорусская АЭС, была изучена обеспеченность организма селеном, цинком и йодом детей младшего школьного возраста и беременных женщин. Впервые установлено достоверное снижение содержания, как селена и цинка, так и йода в организме беременных женщин по сравнению с республиканскими показателями, в то время как у детей достоверных изменений в обеспеченности этими микроэлементами выявлено не было. Выявлена отрицательная корреляционная зависимость между объемом щитовидной железы и содержанием микроэлемента селена и цинка в организме у беременных женщин и у детей по Спирману. Выявленная зависимость может свидетельствовать о потенцировании развития зоба при дефиците селена и цинка в организме.

Taking into account the important role of a number of essential trace elements in protecting the thyroid gland from the action of negative anthropogenic and natural factors in critical groups of the population living in the area where the Belarusian NPP is located, the body's provision with selenium, zinc and iodine for primary school children and pregnant women was studied. For the first time, a significant decrease in the content of both selenium and zinc and iodine in the body of pregnant women was established in comparison with republican indicators, while in children no significant changes in the provision of these trace elements were detected. A negative correlation between the volume of the thyroid gland and the content of the trace element selenium and zinc in the body in pregnant women and in children according to Spearman was revealed. The revealed dependence may indicate potentiation of the development of goiter with a deficiency of selenium and zinc in the body.

Ключевые слова: содержание йода, цинка и селена в организме, аутоиммунный тиреоидит, дети, беременные женщины, г. Островец.

Keywords: content of iodine, zinc and selenium in the body, autoimmune tyroiditis, children, pregnant women, Ostrovets.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-122-125>

Как установлено исследованиями последних лет, причиной роста заболеваемости различными патологиями, в том числе и щитовидной железы, может быть дефицит ряда эссенциальных микроэлементов, в том числе селена, цинка, йода и других [1]. Если по проблеме ликвидации йодного дефицита в республике Беларусь уже более 20 лет проводится целенаправленная профилактическая работа при содействии международных организаций ВОЗ и ЮНИСЕФ, то по устранению дефицита других микроэлементов, такой работы не проводится. На основании научных исследований по распространенности зоба и йодного дефицита, проведенных в 1996–1999 годах, выявивших наличие йодного дефицита средней степени на территории республики, Правительством республики

в 2001 г. было принято Постановление «О предупреждении заболеваний, связанных с дефицитом йода» (2001) [2], что существенно улучшило йодное обеспечение населения Беларуси. В последующем для достижения устойчивого процесса профилактики йододефицита 29 июня 2003 г. в Беларуси был подписан Закон Республики Беларусь № 217-З «О качестве и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека», в котором указывалось необходимость сбалансированного питания населения по микроэлементам, в том числе по микроэлементу йоду. Однако несмотря на улучшение обеспеченности организма детей школьного возраста по микроэлементу йода, продолжается рост показателей заболеваемости АИТ, зобом и другими заболеваниями щитовидной железы у детей и беременных женщин из некоторых регионов Беларуси. Мощные промышленные объекты, появившиеся на территории Республики Беларусь за последние годы, могут стать источниками дополнительных отрицательных антропогенных факторов, вызывающих рост заболеваемости щитовидной железы.

Недостаточное обеспечение организма эссенциальными микроэлементами такими как селен йод, цинк, медь создают условия для поступления в щитовидную железу таких тяжелых металлов как свинец, кадмий, а также в связи с недостаточной нагрузкой ферментов синтеза гормонов щитовидной железы снижают эффективность работы иммунной, антиоксидантной и других систем организма. В популяционном исследовании, проведенном Wu et al., установлено, что в регионе с достаточным потреблением селена статистически реже встречается субклинический гипотиреоз, манифестный гипотиреоз и аутоиммунный тиреоидит. Суммарно распространенность этих заболеваний была почти в 2 раза меньше в регионе с достаточным обеспечением селеном по сравнению с селенодефицитным регионом [3]. Недостаток селена в организме в сочетании с дефицитом йода ассоциирован с повышенным риском как диффузного, так и узлового зоба [4]. В ряде исследований было показано, что сниженное содержание селена в ткани щитовидной железы установлено при раке и узловом зобе [5]. Наряду с недостатком йода и селена, дефицит цинка также отрицательно влияет на функцию щитовидной железы. Имеются экспериментальные и клинические данные, подтверждающие гипотезу зобогенного влияния дефицита цинка – важного компонента многих метаболических процессов. Цинк является компонентом более 200 металлопротеинов, в том числе ядерного рецептора трийодтиронина Т3, что объясняет необходимость данного микроэлемента для реализации биологического эффекта тиреоидных гормонов.

При экспериментальном дефиците цинка отмечена гипоплазия тимуса и развитие Т-клеточного иммунодефицита. Дефицит цинка может приводить к усиленному накоплению в организме кадмия, свинца и меди (функциональных антагонистов цинка), особенно на фоне дефицита белка в рационе. Канцерогенные свойства кадмия, свинца и других токсических металлов связывают с их способностью замещать ионы цинка в «фингерных» белках клеточных ядер, транскрипционных факторах и гормонсвязывающих белках, что нарушает внутриклеточную трансдукцию сигналов и экспрессию генов.

Изучению обеспеченности организма населения Беларуси селеном посвящены ряд исследований крупных научных школ республики [6]. Во всех проведенных исследованиях выявлено разноуровневое снижение содержание селена в организме обследованных жителей республики.

Таким образом, литературные данные свидетельствуют, что: 1) в ряде регионов Беларуси присутствует дефицит микроэлементов селена и цинка в продуктах питания и организме человека, 2) в патогенезе аутоиммунного тиреоидита ведущую роль играет дефицит селена и йода в организме и снижение активности иммунной системы, и в меньшей степени генетические факторы, 3) восполнение дефицита указанных микроэлементов является относительно недорогим и высокоэффективным профилактическим мероприятием, направленным на снижение показатели заболеваемости щитовидной железы у детского населения и беременных женщин республики.

Уровень обеспеченности микроэлементами йода, селена и цинка у детей и беременных женщин, проживающих в зоне влияния отрицательных антропогенных и природных факторов в регионах Беларуси, где находятся крупные промышленные объекты ранее не изучался.

Потребность Беларуси в предлагаемом исследовании чрезвычайно высока, так как, рост числа промышленных предприятий должен сопровождаться сохранением экологической и социально-экономической стабильности в республике.

Материалы и методы исследования. Для реализации цели работы проведено определение йода в моче, микроэлемента селена и цинка в волосах и объема щитовидной железы у 30 школьников, в возрасте 9–12 лет, и 30 беременных женщин, проживающих в зоне расположения крупного промышленного объекта – Белорусской АЭС (г. Островец Гродненская область). Содержание йода в организме детей и беременных определяли по экскреции йода с мочой церий-арсенитным спектрофотометрическим методом. Содержание селена и цинка в организме детей и беременных определяли в образце волос рентгенофлуоресцентным методом. Статистическую обработку полученных результатов проводили по Стьюденту.

Полученные результаты. Проведен анализ данных официальной статистики Минздрава РБ (Сравнительная характеристика деятельности эндокринологической службы Республики Беларусь 2007–2018 гг.) по динамике показателей первичной заболеваемости аутоиммунным тиреоидитом (АИТ) и простым зобом (на 100 тыс. детского населения) у детей по областям Беларуси за вычетом значений ежегодных показателей первичной заболеваемости по этим нозологическим формам по Беларуси. Для выяснения степени достоверности происходящих изменений показателей заболеваемости АИТ и простым зобом у детей за 2007–2018 гг., указанные показатели по времени были разделены на две группы 2007–2011 гг. и 2012–2018 гг.

Полученные результаты по динамике показателей заболеваемости простым зобом приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости простым зобом у детского населения (на 100 тыс. чел.) в Беларуси в периоды 2007–2012 гг. и в 2013–2018 гг.

№	Область	$M \pm m$, 2007–2012 гг.	$M \pm m$, 2013–2018 гг.	Уровень достоверности, n = 6
1.	Гомельская	589,19±21,63	632,91±35,31	P= 0,323;
2.	Могилевская	348,69±37,74	306,72±18,67	P= 0,344;.
3.	Брестская	160,62±31,85	73,40±18,89	P= 0,042*; ↓
4.	Гродненская	306,51±8,23	174,72±2,01	P= 0,001*; ↓
5.	Витебская	92,32±34,04	8,14±3,43	P= 0,036*; ↓
6.	Минская	141,26±36,85	103,84±21,35	P= 0,402
7.	г. Минск	104,6±11,05	55,64±11,51	P= 0,013*; ↓
8.	Беларусь	239,32±13,37	190,6±9,28	P= 0,015*; ↓

Полученные результаты (Таблица 1) свидетельствуют о достоверном снижении показателей заболеваемости простым зобом у детского населения Брестской, Гродненской, Витебской областей, г. Минска (в 1,88–11,3 раза) и Беларуси в целом (в 1,25 раза), то время как в Могилевской и Минской областях показана тенденция к снижению, а в Гомельской области – тенденция к росту этого показателя на 7,4%.

Полученные результаты по динамике показателей заболеваемости АИТ приведены в таблице 2.

Как видно из Таблицы 2, показатели заболеваемости АИТ у детей школьного возраста в изученные периоды изменялись неоднозначно. Если показатели заболеваемости этой нозологической формой в Гомельской области и г. Минске достоверно снизились в 1,68 и 1,89 раза соответственно, то в Брестской и Гродненской областях отмечен их достоверный рост в 1,5 и 1,7 раза, соответственно. В остальных областях и республике в целом не обнаружено достоверных изменений показателя заболеваемости АИТ у детей.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости АИТ у детского населения (на 100 тыс. чел.) в Беларуси в периоды 2007–2012 гг. и в 2013–2018 гг.

№	Область	$M \pm m$, 2007–2012 гг.	$M \pm m$, 2013–2018 гг.	Уровень достоверности
1.	Гомельская	74,10±5,00	44,03±2,10	P= 0,0003*; ↓
2.	Могилевская	44,57±5,36	38,53±4,42	P= 0,407;
3.	Брестская	50,97±6,81	75,46±3,26	P= 0,010*; ↑
4.	Гродненская	36,47±5,99	62,00±7,39	P= 0,025*; ↑
5.	Витебская	42,60±2,76	31,44±5,58	P= 0,105;
6.	Минская	32,03±1,19	37,8±2,67	P= 0,079;
7.	г. Минск	60,09±6,38	31,71±6,43	P= 0,0019*; ↓
8.	Беларусь	47,6±2,03	45,26±0,62	P = 0,717;

Таким образом, улучшение йодного обеспечения детей ведет к снижению показателей заболеваемости простым зобом у детей, но не влияет на изменение показателей в Брестской и Гродненской областях, где за последние 10 лет установлен достоверный рост заболеваемости АИТ. Причины роста показателей заболеваемости АИТ остаются неизученными и могут объясняться дисбалансом в организме других микроэлементов. У детей и беременных женщин с сонографическими признаками АИТ микроэлементный статус не обследовался.

Проведен эколого-эпидемиологический анализ динамики показателей заболеваемости щитовидной железой у критических групп населения (дети школьного возраста и беременные женщины), проживающих в зоне нахождения Белорусской АЭС с 2010 по 2020 гг. (г. Островец, Гродненской области).

Анализ результатов эколого-эпидемиологического анализа динамики показателей заболеваемости щитовидной железой за последние десятилетия у детей школьного возраста проживающих в зоне нахождения Белорусской АЭС, выявил достоверное снижение показателей заболеваемости зобом до республиканских значений и отсутствие достоверных изменений со стороны показателей заболеваемости аутоиммунным тиреоидитом (Таблица 3), в то время как, у беременных женщин не выявлено достоверных изменений показателей заболеваемости щитовидной железой за этот период.

Установлено достоверное снижение показателей заболеваемости простым зобом как в г. Островец, так и в целом в республике (Таблице 3), в то время как показатели заболеваемости аутоиммунным тиреоидитом достоверно не изменились, а у беременных женщин достоверных изменений показателей заболеваемости как простым зобом, так и аутоиммунным тиреоидитом не выявлено (данные не представлены).

Результаты по содержанию микроэлементов (селен, йод и цинк) в организме детей и беременных женщин, проживающих в зоне расположения Белорусской АЭС представлены в Таблице 4.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика показателей заболеваемости простым зобом и аутоиммунным тиреоидитом детского населения (на 100 тыс. чел.) в г.Островец и Республике Беларусь в периоды 2010–2014 гг. и в 2015–2020 гг.

№	район	Простой зоб М±m, 2010-2014 гг.	Простой зоб М±m, 2015-2020 гг.	Уровень достоверности, n = 6	АИТ М±m, 2010-2014 гг.	АИТ М±m, 2015-2020 гг.	Уровень достоверности, n = 6
1.	г. Островец	216,32±9,43	121,72±2,01	P= 0,05;* ↓	46,31±3,31	40,25±2,42	P= 0,64
2.	Беларусь	239,32±13,37	190,6±9,28	P= 0,015;*↓	47,6±2,03	45,26±0,62	P = 0,717

*P ≤ 0,05.

Таблица 4 – Показатели селеновой, йодной и цинковой обеспеченности детского населения и беременных женщин в г. Островец

Категория населения	Содержание селена в волосах (мкг/г)	Содержание цинка в волосах (мкг/г)	Ме йода Мкг/л	Ме объем щж, мл	Употребление йодир. соли %
Дети (30 чел)	0,58±0,15	156,7±3,76	197,8	7,8	89,0
Беременные женщины (30 чел)	0,23±0,13* P≤0,05	98,9±4,56** P≤0,01	136,7	9,6	64,0

Результаты по содержанию микроэлементов в организме детей школьного возраста и беременных женщин, проживающих в зоне нахождения Белорусской АЭС (г. Островец), показали достоверное снижение содержания, как селена, цинка, так и йода в организме беременных женщин по сравнению с республиканскими показателями, в то время как у детей достоверных изменений в обеспеченности этими микроэлементами установлено не было. Частота употребления йодированной соли у беременных женщин меньше, чем в группе детей.

При сравнении объемов щитовидной железы с обеспеченностью организма микроэлементами цинка и селена получена отрицательная корреляционная зависимость между объемом железы и содержанием цинка и селена в организме с коэффициентами «-» 0,075 (селен) и «-» 0,056 (цинк) у беременных женщин и с коэффициентом «-» 0,250 (цинк) у детей по Спирману. Коэффициент корреляции между объемом щитовидной железы и уровнем йода у беременных женщин, также имеет отрицательное значение и равен «-» 0,160 по Спирману. Полученные данные могут свидетельствовать о том, что дефицит селена и цинка потенцируют развитие зоба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zimmermann M.B. The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health /M.B.Zimmermann, J.Kohrle // Thyroid. – 2002. – Oct. 12 (10). P. 867–878.
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 484 от 6 апреля 2001 г. «О предупреждении заболеваний, связанных с дефицитом йода», Мн., 2001.
3. Low population selenium status is associated with increased prevalence of thyroid disease/Q.Wu [и др.] // J Clin Endocrinol Metab. – 2015. – Vol. 100. – P. 4037–4047.
4. Selenium status, thyroid volume, and multiple nodule formation in area with iodine deficiency/ L.B. Rasmussen [и др.] // European Journal of Endocrinology. – 2011. – Vol. 164(4). – P. 585–590.
5. Selenium treatment in autoimmune thyroiditis: 9-month follow-up with variable doses/ O. Turker [и др.] // J Endocrinol. – 2006. – Jul. – 190(1). – P. 151–156.
6. Мойсеев Е.А. Гигиеническая оценка обеспеченности организма человека микроэлементом селена//Гигиенические проблемы профилактики и радиационной безопасности. Гродно, ГрГМУ, 2011, с.187–194.

ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ ВЕЗИКУЛЫ КАК МЕХАНИЗМ МЕЖКЛЕТОЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ В ПАТОФИЗИОЛОГИИ ОПУХОЛЕЙ EXTRACELLULAR VESICLES AS A MECHANISM OF INTERCELLULAR COMMUNICATION IN TUMOR PATHOPHYSIOLOGY

Е. С. Жартун^{1,2}, Д. Б. Нижегородова^{1,2}

E. Zhartun^{1,2}, D. Nizheharodava^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

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

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В нормальных клетках функционируют механизмы, препятствующие развитию рака, в то время как в опухолевых клетках имеются дефекты в регуляторной цепи, контролирующей пролиферацию клетки и ее гомеостаз. Межклеточная коммуникация – это обмен информацией с помощью различных сигнальных механизмов, затрагивающий множество аспектов жизнедеятельности клетки и имеющий решающее значение для морфогенеза, дифференцировки, взаимодействия, гомеостаза и роста клеток. Исследование механизмов межклеточной коммуникации, опосредованных внеклеточными везикулами, важно для понимания последовательных событий в клетке, которые приводят к развитию рака. Ключевое значение межклеточной коммуникации опухолевых клеток проявляется в аутокринной стимуляции (увеличение пролиферации и ингибирование сигналов апоптоза), подавлении иммунитета (опухолевые внеклеточные везикулы создают иммунодепрессивную среду), подготовке метастатической ниши.

In normal cells, mechanisms that prevent the development of cancer function, while in tumor cells there are defects in the regulatory chain that controls cell proliferation and its homeostasis. Intercellular communication is the exchange of information through various signaling mechanisms affecting many aspects of cell life and is crucial for morphogenesis, differentiation, interaction, homeostasis and cell growth. The study of the mechanisms of intercellular communication mediated by extracellular vesicles is important for understanding the sequential events in the cell that lead to the development of cancer. The key importance of intercellular communication of tumor cells is manifested in autocrine stimulation (increased proliferation and inhibition of apoptosis signals), suppression of immunity (tumor extracellular vesicles create an immunosuppressive environment), preparation of a metastatic niche.

Ключевые слова: рак, межклеточная коммуникация, внеклеточные везикулы.

Keywords: cancer, intercellular communication, extracellular vesicles.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-125-128>

Опухоли выделяют факторы в циркуляторное русло (цитокины, факторы роста, экзосомы), которые способны не только влиять на выживаемость опухолевых клеток в крови, но и в состоянии обеспечивать подготовку условий для метастазирования еще до диссеминации клеток опухоли, а также вызывают изменения клеточного состава в органах вторичного опухолевого роста и поддерживают разрастание внедрившихся опухолевых клеток. Экологическая обстановка в мире в целом и в Республике Беларусь в частности оказывает негативное воздействие на здоровье человека и способствует росту числа онкологических заболеваний, в связи с чем актуальны исследования механизмов малигнизации клеток, в том числе с вовлечением внеклеточных везикул, как важнейшего механизма внеклеточной коммуникации.

Внеклеточные везикулы в целом можно классифицировать в зависимости от их размера и происхождения: экзосомы (50–200 нм), микровезикулы (100–1000 нм), апоптотические тельца (50–4000 нм) и простасомы (40–500 нм). Экзосомы содержат несколько типов специфических поверхностных маркеров, таких как тетраспанины (CD9, CD63 и CD81), белки теплового шока (Hsp70 и Hsp90), белки синтеза MVB [ALG-2-взаимодействующий белок X (Alix) и ген 101 восприимчивости к опухолям (Tsg101)] и мембранные транспортеры и слитые белки (аннексины и флотиллин). Для микровезикул были идентифицированы такие белки как CD40, фактор 6 АДФ-рибозилирования (ARF6), селектины, фосфатидилсерин и члены семейства Rho., Аннексин V и гистоны являются специфическими белками апоптотических телец, а простасомы характеризуются присутствием повсеместного маркера внеклеточных везикул, CD9, и маркеров-кандидатов на рак предстательной железы, таких как простат-специфический антиген (PSA), трансмембранная сериновая протеаза 2-го типа (TMPRSS2), антиген стволовых клеток предстательной железы (PSCA) и простатспецифический мембранный антиген (PSMA). [1]

Хотя в течение многих лет основными посредниками межклеточной коммуникации опухолей считались секретлируемые белки, такие как факторы роста, цитокины и хемокины, последние достижения в области биологии рака показывают, что внеклеточные везикулы играют ключевую роль в этом процессе коммуникации. Поэтому прогрессия опухолевого роста зависит от согласованности процессов передачи сигналов между разными типами клеток и реализации программ внутриклеточных процессов [2].

Внеклеточные везикулы являются средством межклеточной коммуникации между соседними и удаленными клетками. Установлено, что внеклеточные везикулы содержат нуклеиновые кислоты, белки и липиды и играют роль как в физиологических, так и в патологических состояниях, а также могут модулировать ряд клеточных процессов, таких как репродуктивное пролиферации, миграции, инвазивности и внеклеточного матрикса, что вызывает большой интерес во многих различных биологических контекстах.

Бенито-Мартин и другими показано, что внеклеточные везикулы участвуют в регуляции иммунного ответа, в связи с чем большое внимание привлечено к взаимодействию между внеклеточными везикулами опухолей и регуляцией иммунной системы. Важно отметить, что первоначальное локальное взаимодействие между опухолевыми клетками и врожденным иммунным ответом может иметь решающее влияние на судьбу опухоли [3].

Опухолевые внеклеточные везикулы являются отражением белкового состава родительской клетки. Поэтому внеклеточные везикулы могут содержать опухолеспецифические антигены, такие как карциноэмбриональный антиген (CEA) и мезотелин. Как следствие, опухолеспецифические антигены могут индуцировать созревание антигенпредставляющих клеток (APC), стимулируя цитотоксические CD8⁺ Т-лимфоциты и натуральные киллеры (NK), в конечном итоге способствуя устранению раковых клеток [4].

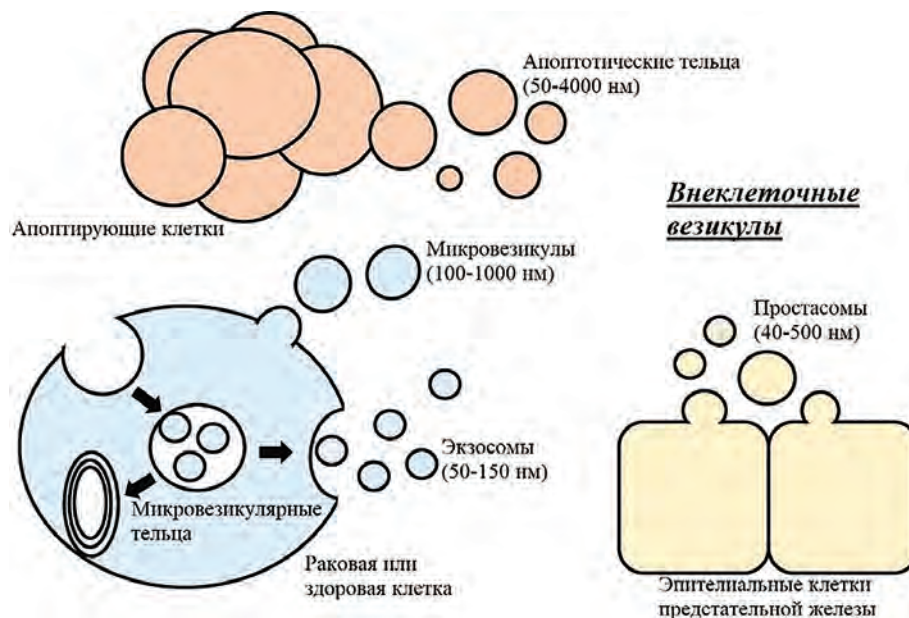


Рисунок 1 – Типы внеклеточных везикул

Хотя активация иммунной системы может первоначально снизить рост опухоли, раковые клетки обычно имеют защитные механизмы для уклонения от иммунного наблюдения. Обнаружено, что полученные из опухоли внеклеточные везикулы преимущественно связывают субкапсулярный синус лимфатических узлов, где специализированная популяция макрофагов (CD169+) блокирует распространение опухолевых внеклеточных везикул. При этом барьер изменяется во время рака, позволяя внеклеточным везикулам опухоли, проходящим через лимфатические узлы, активировать В-лимфоциты, способствующие росту самой опухоли.

Фактически, полученные из опухоли внеклеточные везикулы создают иммунодепрессивную среду, которая защищает опухоль от иммунной системы. Внеклеточные везикулы, полученные из клеток рака молочной железы, запускают активирующие опухоль макрофаги (TAM), индуцируя секрецию IL-6, фактора некроза опухолей альфа (TNF α), гранулоцитарно-колониестимулирующего фактора (G-CSF) и CCL2 посредством NK-кВ активации и стимулирования васкуляризации и ангиогенеза. Кроме того, обнаружено, что TGF β является существенным для рекрутирования опухолесодержащих нейтрофилов к опухоли, и внеклеточные везикулы, полученные из рака молочной железы, могут обездвижить нейтрофилы в опухоли, способствующей прогрессированию рака. Показано, что внеклеточные везикулы, полученные из сыворотки пациентов с раком, экспрессируют FasL и TRAIL в виде трансмембранных белков, активируя апоптоз в цитотоксических CD8+ Т-лимфоцитах. FasL также обнаруживается в опухолевых внеклеточных везикулах и, вызывая апоптоз клеток иммунитета, подавляет иммунный ответ на опухоль. Присутствие CD11b в опухолевых внеклеточных везикулах подавляет антигенспецифические ответы через MHC-II-зависимый механизм [4]. Все эти исследования показывают, что внеклеточные везикулы, полученные из опухолевых клеток, представляют широкий спектр антигенов, способных уклониться от контроля иммунитетом.

Помимо уклонения от контроля со стороны иммунитета, раковые клетки вынуждены искать альтернативные пути, чтобы успешно расти и колонизировать чужеродные ткани. Внеклеточные везикулы, полученные из опухоли, способствуют переходу к метастазированию, такому как индуцирование изменений стромы опухоли, способствующему ангиогенезу и благоприятствующему эпителиально-мезенхимному переходу.

Чтобы опухоль продолжала прогрессировать, необходима комплексная стромальная поддержка [5]. Раковая строма в основном состоит из опухоль-ассоциированных фибробластов (CAF) подтипов миофибробластов, которые высвобождают фермент-деградирующие протеазы или металлопротеазы (MMP), способствующие образованию десмопластической стромы, признака современных карцином. Показано, что внеклеточные везикулы, содержащие TGF β , трансформируют фибробласты в миофибробласты. На рисунке 2 представлена связь между опухоль-ассоциированными фибробластами и раковыми клетками через внеклеточные везикулы, что является важным механизмом межклеточной коммуникации, который индуцирует изменения в микроокружении опухоли.

Использование внеклеточных везикул в качестве средств доставки или противоопухолевых вакцин также является привлекательной стратегией лечения рака. Благодаря их стабильности, тропности к определенным органам и минимальным побочным эффектам, внеклеточные везикулы могут успешно переносить противоопухолевые препараты, нацеленные на раковые клетки. Сообщалось об эффективности внеклеточных везикул в качестве средств доставки для транспортировки терапевтических siRNA и антисмысловых miRNA с помощью моделей *in vivo*. Кроме того, внеклеточные везикулы, полученные из антигенпрезентирующих клеток (APC), таких как дендритные клетки, транспортируют комплексы опухолевых антигенов, нагруженные основными молекулами комплекса гистосовместимости, которые могут инициировать наивные Т-клетки и активировать естественные клетки-киллеры для уменьшения опухоли. [1]



Примечание: TAM – активирующие опухоль макрофаги; CAF – опухоль-ассоциированные фибробласты.

Рисунок 2 – Опухолевые внеклеточные везикулы влияют на микроокружение, способствуя прогрессированию опухоли [2]

Заключение. Внеклеточные везикулы являются важными биоактивными транспортными средствами, которые используют опухолевые клетки для превращения их среды в микроокружение, поддерживающее их рост и выживание, одновременно ингибируя иммунную систему и нормальный гемопоэз. Опухолевые внеклеточные везикулы и их биологический смысл предоставляют уникальную информацию о патологическом заболевании, которое может быть использовано не только для диагностических или прогностических целей, но также для разработки новых методов лечения. Использование внеклеточных везикул в терапии хорошо переносится и дает существенные результаты. Дальнейшие исследования внеклеточных везикул в качестве биомаркеров и терапевтических моделей могут способствовать развитию более эффективных параметров таргетной терапии и лучшему пониманию того, как развивается резистентность к химиотерапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Extracellular vesicles as biomarkers and therapeutic targets for cancer / F. Urabe [и др.] // Am. J. Physiol.-Cell Physiol. – 2020. – Т. 318, № 1. – С. C29–C39.
2. O’Loghlen, A. Role for extracellular vesicles in the tumour microenvironment / A. O’Loghlen // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2018. – Vol. 373, № 1737 – P. 20160488.
3. The new deal: a potential role for secreted vesicles in innate immunity and tumor progression / A. Benito-Martin [и др.] // Front. Immunol. – 2015. – Т. 6 – С. 66.
4. Robbins, P.D. Regulation of Immune Responses by Extracellular Vesicles / P.D. Robbins, A.E. Morelli // Nat Rev Immunol. – 2014. – Vol. 14, № 3 – P. 195–208.
5. Hanahan, D. Hallmarks of Cancer: The Next Generation / D. Hanahan, R.A. Weinberg // Cell. – 2011. – Vol. 144, № 5 – P. 646–674

ИММУНОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕПОЛНОРАЗМЕРНЫХ АНТИТЕЛ К ФЕРРИТИНУ

IMMUNOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF FRAGMENTS OF ANTIBODIES TO FERRITIN

Б. А. Музыченко^{1,2}, Я. И. Мельникова^{1,2}

B. Muzychenko^{1,2}, Ya. Melnikova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

kaf_immunal@iseu.by, Bogdanich1313@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В данном исследовании проанализированы антигенсвязывающие свойства ряда scFv фрагментов моноклонального антитела HSF 102, что может использоваться при оптимизации протоколов создания рекомбинантных моноклональных антител и их фрагментов с различной длиной линкерного пептида.

In this study, the antigen-binding properties of several scFv fragments of the HSF 102 monoclonal antibody were analyzed, which can be used to optimize protocols for creating recombinant monoclonal antibodies and their fragments with different linker peptide lengths.

Ключевые слова: моноклональные антитела, scFv, ферритин.

Keywords: monoclonal antibodies, scFv, ferritin.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-128-131>

Введение. В последнее время активно развиваются инновационные технологии по созданию рекомбинантных белков, в частности антител, получаемых с помощью молекулярно-биологических манипуляций. Наиболее востребован антитела, применяемые в онкологии, а также при лечении иммунных заболеваний и трансплантации органов [2].

Благодаря разработке гибридной технологии, стало возможно получение моноклональных антител (моноклональных антител), разнообразных по строению, свойствам и специфичности. Первоначальные мышинные антитела имели существенные недостатки из-за их высокой иммуногенности и неспособности выполнять эффекторные функции в организме человека. Эти недостатки были устранены с созданием рекомбинантных “химерных”, а затем полностью “гуманизированных” антител [1].

Благодаря ряду преимуществ, которыми обладают рекомбинантные антитела и их фрагменты, сфера их возможного применения значительно шире, чем у моноклональных антител, причем в первую очередь – из-за возможности их использования в качестве терапевтических агентов при лечении различных заболеваний.

Методы генной инженерии позволяют преодолевать такие свойства моноклональных антител, затрудняющие применение в клинической практике, как, например, повышенная иммуногенность. Для дальнейшего понижения иммуногенности получают гуманизированные (почти полностью «замещенные») антитела, в которых от антител мыши остаются только участки вариабельных доменов, непосредственно взаимодействующие с антигеном, а все остальные части молекулы замещаются на последовательность человеческих иммуноглобулинов [3].

Кроме этого, генно-инженерные технологии позволяют создавать антитела к тем антигенам, которые не обладают иммуногенностью или токсичны для животных, и которые поэтому сложно получить, используя гибридную технологию.

Одним из наиболее перспективных направлений развития технологии получения рекомбинантных антител является получение антител, обладающих более высокой аффинностью, чем исходные природные антитела.

Цель исследования – провести анализ антигенсвязывающих свойств ряда scFv фрагментов моноклонального антитела HSF 102 с различной длиной линкерного пептида.

Материалы и методы. Для получения мАТ мышей линии BALB/c иммунизировали путем многократного введения ферритина, выделенного из селезенки человека, внутривенно в полном адьюванте Фрейнда, по 100 мкг на 1 инъекцию с интервалом в 14 дней. Контроль за ходом иммунизации осуществляли путем отбора крови мышей и детекции мАТ к ферритину с помощью иммобилизованного ферритина и пероксидазного конъюгата поликлональных антител кролика к иммуноглобулинам мыши. За 3-4 дня до гибридизации мышей иммунизировали внутривенно 100 мкг белка в физиологическом растворе.

Гибридизацию спленоцитов с миеломными клетками Р3х63Ag8.6.5.3. проводили, используя 40%-ный раствор ПЭГ (M=4000 Да), содержащий 10%-ный диметилсульфоксид. Соотношение спленоцитов и миеломных клеток составляло 5:1. Затем переносили в селективную среду, содержащую гипоксантин, аминоптерин, тимидин.

После появления клонов (через 10–14 дней) отбирали культуральную жидкость из лунок с растущими клонами и тестировали на наличие мАТ к ферритину с помощью двухцентрового иммуноферментного анализа, в котором ферритин был связан с очищенными аффинной хроматографией поликлональными АТ кролика, иммобилизованными в лунках полистирольного планшета.

Проявление комплексов АГ с АТ проводили с помощью конъюгата АТ кролика к Ig мыши с пероксидазой хрена (анти-IgG-ПХ).

Отобранные культуры подвергали двукратному клонированию методом лимитирующих разведений для получения стабильных клонов и затем использовали для препаративного выделения мАТ в виде асцитной жидкости.

Изотипы тяжелых цепей определяли с помощью иммуноферментного анализа в системе, содержащей адсорбированный в лунках полистирольных планшетов ферритин, исследуемые мАТ и пероксидазные конъюгаты поликлональных антител кролика к изотипам тяжелых цепей IgG мыши.

Антигенсвязывающую активность scFv фрагментов антител оценивали в конкурентном иммуноферментном анализе с использованием конъюгатов моноклонального антитела HSF102 с биотином.

Конкурентный тест для моноклональных антител выполняли в системе, включающей ферритин, иммобилизованный в лунках полистирольного планшета, 300 нг меченого биотином полноразмерного моноклонального антитела HSF102 и возрастающие количества конкурирующего нативного моноклонального антитела HSF102 или

укороченного фрагмента антитела в объеме 0,2 мл 0,05 М Na-фосфата pH 7,4, содержащего 1% БСА и 0,2 М NaCl. Через 1,5 ч лунки промывали и добавляли конъюгат - стрептавидина с пероксидазой хрена в разведении 1: 1000.

Определяли концентрацию антител Co5, обеспечивающую полумаксимальное связывание меченого компонента с иммобилизованным ферритином.

Результаты. Как видно из представленных результатов конкурентного теста (Рисунок 1), концентрация полумаксимального ингибирования scFv фрагментов моноАт HSF102-21.11 в 6 раз меньше аналогичного параметра полноразмерных антител, что свидетельствует о повышенной способности scFv фрагмента моноАт HSF102- связывать ферритин. Перевод полученных экспериментальных данных в координаты двойных обратных величин (Рисунок 2), позволил получить значения констант взаимодействия моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.11.

Рассчитанные значения констант моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.11 составили $0,75 \times 10^{-9}$ М и $0,5 \times 10^{-9}$ М соответственно.

Конкурентные эксперименты с использованием scFv-HSF102-21.14 (Рисунок 3А) показали, что концентрация полумаксимального ингибирования для scFv фрагмента моноАт HSF102 в 1,5 раз меньше таковой для полноразмерного моноАт HSF 102.

Представление экспериментальных данных в координатах двойных обратных величин (Рисунок 3Б), позволило определить значения констант взаимодействия, которые составили для моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.11 $1,4 \times 10^{-9}$ М и $1,1 \times 10^{-9}$ М соответственно.

При использовании в конкурентных экспериментах по определению степени сродства к ферритину модифицированных scFv фрагментов scFv-HSF102-21.19 (Рисунок 4А) было установлено, что концентрация полумаксимального ингибирования scFv-HSF102-21.19 в 2,5 раза меньше, чем аналогичный параметр полноразмерных антител.

Полученные данные указывают на более высокую антигенсвязывающую активность конструктора scFv-HSF102-21.19 с ферритином, по сравнению с моноклональным антителом HSF102.

Трансформация полученных экспериментальных данных в графическую систему двойных обратных величин, позволила получить значения констант взаимодействия для моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.19 $1,4 \times 10^{-9}$ М и $1,0 \times 10^{-9}$ М соответственно (рисунок 4Б).

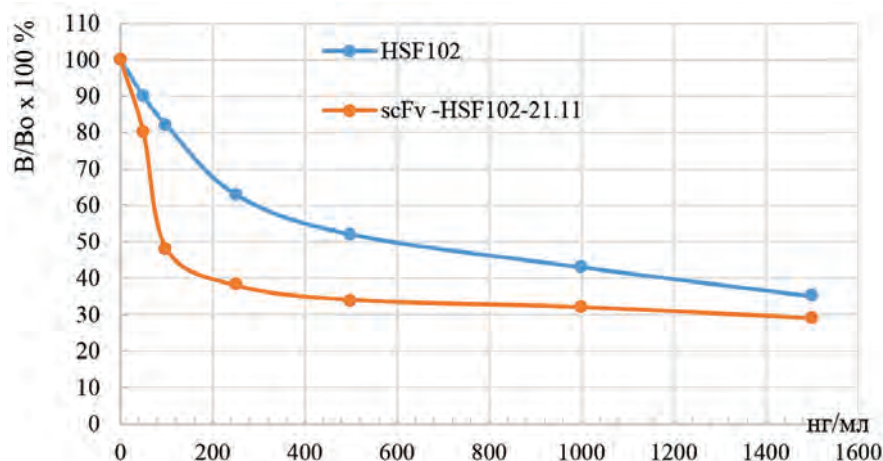


Рисунок 1 – Определение параметров связывания ферритина полноразмерных моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.11

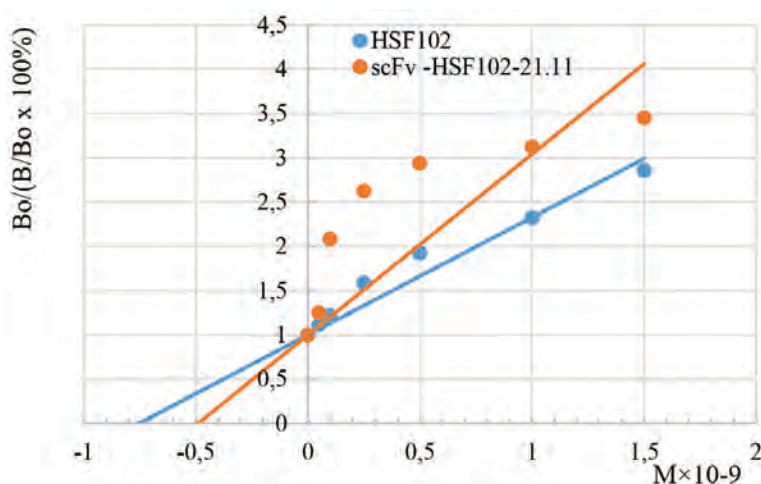


Рисунок 2 – Определение констант взаимодействия полноразмерных моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.11 методом двойных обратных величин

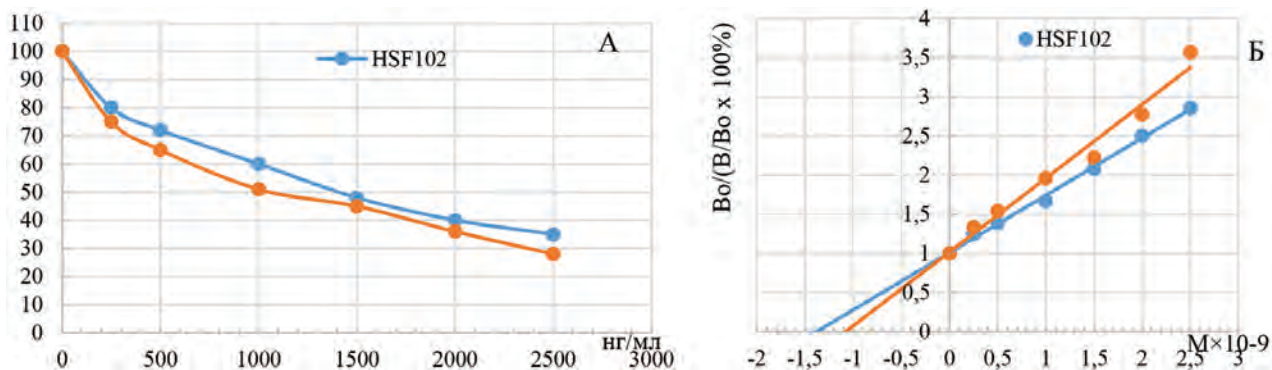


Рисунок 3 – А) Определение параметров связывания ферритина полноразмерных моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.14. Б) Определение констант взаимодействия полноразмерных моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.14 методом двойных обратных величин

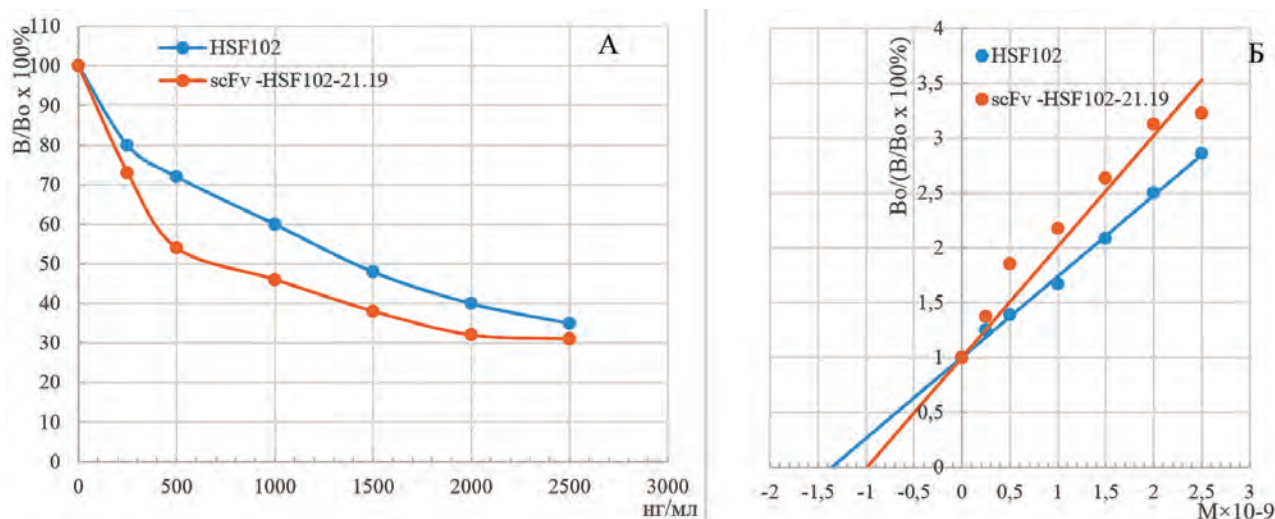


Рисунок 4 – А) Определение параметров связывания ферритина полноразмерных моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.19. Б) Определение констант взаимодействия полноразмерных моноАт HSF102 и scFv-HSF102-21.19 методом двойных обратных величин

Результаты показали различную антигенсвязывающую способность фрагментов scFv-HSF102-21.11, scFv-HSF102-21.14 и scFv-HSF102-21.19.

Анализ антигенсвязывающей способности scFv фрагментов моноклонального антитела HFS 102 с использованием конкурентного ИФА показал, что аффинность связывания фрагмента scFv-HSF102-21.11 в 6 раз выше, чем у полноразмерного моноАт HSF102.

В то же время аффинность конструкторов scFv-HSF102-21.14, scFv-HSF102-21.19 к ферритину в 1,5 и 2,5 раза выше, в сравнении, с полноразмерным антителом к ферритину человека HSF102.

Заключение. Альтернативным методом получения антител является создание их рекомбинантных аналогов. Этот подход позволяет получать высокоочищенные препараты рекомбинантных антител, а также изменять их свойства с помощью генно-инженерных методов.

Использование генноинженерных методов позволяет экспрессировать легкие и тяжелые цепи иммуноглобулинов, как индивидуальные белки, создавать целый набор разнообразных фрагментов антител, а также изменять такие свойства антител, как аффинность, число и специфичность паратопов, состав доменов, подвижность молекулы, пространственную ориентацию участков связывания с антигеном, молекулярный вес, изoelectricкую точку и потенциальную иммуногенность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahmad, Z. A. scFv antibody: principles and clinical application. Clin. Dev. / Z. A. Ahmad // Immunol. – 2012. – V.87. – P. 42–49
2. Aina, O. H., Recent Innovations in Peptide Based Targeted Drug Delivery to Cancer Cells / R. Liu, J. L. Sutcliffe, et al. // Mol. Farm. – 2007. – V. 4. – P. 631–651.
3. Carter, P.J. Potent antibody therapeutics by design. Nat Rev / P.J. Carter // Immunol. – 2006. – № 6. – P. 343–357.

РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

DETERMINATION OF SELENIUM IN CHICKEN AND EGGS USING MICROWAVE DIGESTION AND HYDRIDE GENERATION ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ СЕЛЕНА В КУРИНОМ МЯСЕ И ЯЙЦАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ И АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С ГЕНЕРАЦИЕЙ ГИДРИДОВ

B. Kurt¹, A. Demirak¹, D. Yıldız¹
Б. Курт¹, А. Демирак¹, Д. Йилдиз¹

¹Mugla Sıtkı Kocman University, Environmental Research and Application Centre For Research Laboratories, 48000 Mugla, Turkey (ademirak@mu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6815-8037>)

¹Университет Мугла Сыткы Космана, Центр экологических исследований и разработок научно-исследовательских лабораторий, 48000 Мугла, Турция (ademirak@mu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6815-8037>)

In this study, the concentrations of Se were determined in muscle and liver of chickens, white part of eggs, and yellow part of eggs by using Microwave digestion and Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy (HG-AAS). The samples of farm chickens, village grouse chickens, and eggs of them were collected from the Mugla region of Turkey. To confirm the accuracy of this method, DOLT 5 Dogfish Liver was used as standard reference material. The concentrations of Se in muscle and liver from samples of chicken and village grouse chicken were found as the lowest not determined and the highest 1.88 mg/kg. The average concentrations of Se in the samples of the yellow part of the farm chicken eggs and the village grouse chicken eggs were determined as 0.44 and 0.88 mg/kg, respectively.

В этом исследовании с использованием микроволновой обработки и атомно-абсорбционной спектроскопии с генерацией гидридов была определена концентрация селена в куриной печени и мышцах, яичном белке и желтке. В провинции Мугла (Турция) были собраны образцы куриного мяса, яиц птицефабрик и фермерских хозяйств. Для подтверждения точности данного метода, в качестве стандартного эталонного материала был использован DOLT 5 Dogfish Liver. Самая низкая концентрация селена в мышцах и печени взятых образцов не определена, а самая высокая 1.88 мг/кг. Средний показатель концентрации селена в образцах желтка куриных яиц птицефабрик и фермерских хозяйств составил 0.44 и 0.88 мг/кг соответственно.

Keywords: HG-AAS, chicken, egg, Se determination.

Ключевые слова: HG-AAS, куриное мясо, яйцо, определение уровня селена.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-135-137>

Introduction. Determination of essential and toxic metalloids such as Se, which is only found in ng /g levels in foods, is important for human health and the environment. Se is known to be an essential element in biological systems, but the high concentrations of Se are toxic [1]. These two roles of Se in biological systems have interested the attention of researchers. Se has important roles for the human body such as increasing immunity, preventing free radical damage, participating in antioxidant activity that defends against inflammation, and enhancing the quality of blood flow [2]. While Se intake per day (120–134 µg / L) is considered sufficient in normal nutrition, 200 µg selenium supplements have a very immuno-enhancing effect. The upper limit for safe intake by adults is set at 400 µg per day. Se does not contain high concentrations in food [1]. Therefore, it is important to be able to analyze Se.

There are many spectroscopic methods used to determine selenium in foods. In the last decade, significant instrumental and methodological advances have led to the widespread application of HG-AAS to a wide variety of metal sample types such as As, Sb, and Se that are evaporated into volatile hydrides [3–4]. This analysis method is one of the most preferred methods due to its simplicity, sensitivity, and speed [5]. The use of a closed microwave digestion system has been developed as a rapid procedure with the advantage of minimizing the potential loss of analyte due to open system mineralization [4].

The purpose of this study is the determination of Se in muscle and liver of village grouse chickens (VGCs) and farm chickens (FCs) in Mugla (Turkey). Also, it is determined of Se in eggs of VGCs and FCs in there. The results of Se are compared.

Materials and methods

The samples collection and preparation of analysis. 15 FCs, 15 VGCs, 15 eggs of FC, and 15 eggs of VGC were collected in the Mugla region. Muscle and liver tissues were taken from chicken samples. In chicken egg samples, the yellow and white parts of the egg were separated. Muscle and liver of chicken samples, white and yellow parts of egg

samples were homogenized. 0.5 g of each yellow part of egg samples and 1.0 g of each muscle and liver of chicken samples were weighed. 10 mL of concentrated HNO₃ was added to each sample. All samples were digested using a microwave digestion unit (CEM, Mars 6 Microwave Digestion System). “Food Program” was used for egg samples and “Animal Tissue Program” was used for muscle and liver samples. All dissolved samples were filtered on filter paper (Sartorius-Stedim, particle size = 2–3 µm). The total volume of each filtered sample was completed to 50.0 mL with ultrapure water (Milli-Q Millipore 18.2 MΩ/cm resistivity).

Analysis in HG-AAS. Se standard solutions and samples were sent from a tubing to the system, as well as 10 mol / L HCl was sent to the system from a different tubing. In the HG-AAS technique, NaBH₄ was used as the hydride source. Also, NaBH₄ acted as a reducing agent. NaBH₄ reacts with sample solutions to form volatile species of Se. The reaction of the volatile Se hydride formed is as follows (Eq. 1).



NaOH was added to the NaBH₄ solutions as a protective. Argon gas (99.9999%), which does not react, is generally used as a carrier in HG-AAS. Argon gas drags the Se hydride formed in the hydride system into the quartz T tube. The remaining liquid part is removed from the system as waste thanks to the gas-liquid separator. The gas-liquid separator is one of the most important parts of the hydride system. Thanks to this separator, only elements that can form hydride such as selenium hydride are carried to the quartz T tube.

Standard solutions of Se ranging from 4.0 µg / L to 70.0 µg / L were prepared. In the created calibration graph, the first value and the last two values were removed from the calibration graph because they deviated from the linearity range. The linearity range for Se analysis with the HG-AAS method was determined as 5.0–50.0 µg / L. Limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) values were calculated as 1.32 and 4.39 µg/L, respectively. To determine the accuracy of the HG-AAS method developed for Se determination in chicken egg and chicken samples, DOLT 5 Dogfish Liver certified reference material (CRM) was used. The comparison of the analysis results of the obtained values in the HG-AAS method and the values of certified reference materials is given in Table 1.

Table 1 – Quality control of Se analysis in HG-AAS (mg/kg)

CRM	Certified values	Obtained values	Accuracy (%)
DOLT 5	8.30 ± 1.8	8.27 ± 1.2	99.6

Results. The values obtained in the study are summarized in Table 2.

Table 2 – The concentrations of Se in the samples (mg/kg) (n=15)

Samples	Maximum	Minimum	Average	SD ¹
The muscle of FCs	1.88	0.02	0.63	0.75
The muscle of VGCs	0.43	nd	0.30	0.08
The liver of FCs	0.24	nd	0.08	0.10
The liver of VGCs	0.40	nd	0.08	0.12
The yellow part of egg in FC	2.78	nd	0.44	0.88
The yellow part of egg in VGC	2.92	nd	0.88	1.30
The white part of egg in FC	nd ¹	nd	nd	nd
The white part of egg in VGC	nd	nd	nd	nd

¹SD: Standard deviation

²nd: not determined

Discussion and conclusion. The muscle and liver of FC samples was determined to be quite rich in Se. In this case, it was thought that chickens might have been fed with Se diet feed in some farms. When the concentrations of Se in muscle and liver of the FC samples were evaluated within themselves, it was seen that there were found differences between the maximum and minimum in Se concentrations. This suggests that some chicken farms may apply the Se diet too much and Se diet is insufficient in some chicken farms.

When the concentrations of Se in muscle and liver of VGC samples were evaluated, there were found no major differences as in farm chicken muscle samples. The concentrations in muscle and liver of VGC were determined to be close to each other. It is considered to be an expected result that these concentrations are close to each other since the feeding areas of the chickens were the same in the VGCs.

The concentrations of Se in the white part of eggs in FC samples and VGC samples were found below the analysis limit. The concentrations of Se in yellow part of eggs in VGC samples were found higher than the concentrations of Se in than the yellow part of eggs in FC samples. Se content is found in very low concentrations (ppb - µg / L) in food samples such as chicken and eggs. Therefore, spectroscopic methods (ICP-MS, ICP-OES, GC-MS) with higher sensitivity are used or enrichment methods are used for analysis in AAS. In this study, it was determined that Se concentrations in chicken samples and chicken egg samples could be determined by the HG-AAS technique.

REFERENCES

1. Altunay, N. determination of sub-ng g⁻¹ levels of total inorganic arsenic and selenium in foods by hydride-generation atomic absorption spectrometry after pre-concentration / N. Altunay, R. Gürkan // Food Additives & Contaminants: Part A. 2017 B. 34. No 3. S. 390-403.
2. Rayman, M.P. selenium and human health / M. P. Rayman // Lancet. 2012 B. 379 S. 256-1268.
3. Pistón M. determination of total selenium by multicommutated-flow hydride generation atomic absorption spectrometry. application to cow's milk and infant formulae / M. Piston, J. Silva, R. Pérez-Zambra, M. Knochen // Anal. Methods. 2009 B. 1 S. 139-143.
4. Zam, W. methods of spectroscopy for selenium determination: a review / W. Zam, M. Alshahneh, A. Hasan // Research J. Pharm. and Tech. 2019 B. 12 No 12. S. 6149-6152.
5. Büyükpınar Ç. development of a sensitive closed batch vessel hydride generation atomic absorption spectrometry method for the determination of cadmium in aqueous samples / Ç. Büyükpınar, B. Bekar, E. Maltepe, D. S. Chormey and others // Instrum Sci Tech. 2018 B. 46 No 6. S. 645-655.

МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ НА ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

MONITORING OF THE HELMINTH FAUNA OF SMALL RODENTS LIVING ON THE BANKS OF DRAINAGE CHANNELS ON ARABLE LANDS OF BELARUSIAN POLESIE

B. B. Шумалов

V. V. Shimalov

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

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

Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов на пахотных землях, проводился в 2017 г. в Брестском Полесье (западная часть Белорусского Полесья). Было отработано 1000 ловушко-суток и поймано 190 зверьков 6-ти видов. Доминировала обыкновенная полевка, субдоминант – полевая мышь. Общая зараженность грызунов гельминтами составила 76,8 %. Обнаружено 24 вида гельминтов. Нематода *Syphacia nigeriana* Baylis, 1928 чаще инвазировала обыкновенных полевков и полевков-экономок, нематода *Heligmosomoides polygyrus* (Dujardin, 1845) – полевых и желтогорлых мышей, нематода *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954 – рыжих полевков. Трематода *Psilotrema spiculigerum* (Mühling, 1898) (хозяин: обыкновенная полевка) и акантоцефал *Moniliformis moniliformis* (Bremser, 1811) (хозяин: полевая мышь) у грызунов на берегах каналов раньше не отмечались. Четыре вида гельминтов имеют медико-ветеринарное значение.

Monitoring of the helminth fauna of small rodents living on drainage channel banks on arable lands was carried out in 2017 in Brest Polesie (western part of Belarusian Polesie). 1,000 trap-days were worked out and 190 animals of 6 species were caught. The common vole was dominant, the striped field mouse was the subdominant. The total infection of rodents with helminths was 76.8%. 24 species of helminths were found. The nematode *Syphacia nigeriana* Baylis, 1928 more often invaded common and root voles, the nematode *Heligmosomoides polygyrus* (Dujardin, 1845) – striped field and yellow-necked mice, the nematode *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954 – red-backed voles. The trematode *Psilotrema spiculigerum* (Mühling, 1898) (host: common vole) and the acanthocephalan *Moniliformis moniliformis* (Bremser, 1811) (host: striped field mouse) were not previously recorded in small rodents on channel banks. Four species of helminths have medical and veterinary significance.

Ключевые слова: мониторинг, гельминты, мелкие грызуны, мелиоративные каналы, пахотные земли, Брестское Полесье.

Keywords: monitoring, helminths, small rodents, drainage channels, arable lands, Brest Polesie.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-137-140>

Начиная с 1996 года, нами в юго-западной части Беларуси на территории Белорусского Полесья периодически проводятся исследования зараженности гельминтами мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных

каналов. Уже сделано 2 периода таких исследований: в 1996–1999 гг. [1] и в 2005–2010 гг. [2]. Были установлены виды мелких грызунов, обитающих на берегах мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах, на пахотных землях, выгонах и вдоль дорог, доминирующие виды зверьков, видовой состав гельминтов (включая виды, имеющие медико-ветеринарное значение), инвазированность ими этих зверьков. С 2015 года начат третий период исследований. Проведены и опубликованы данные по зараженности гельминтами мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов, проходящих в смешанных лесах [3]. Если первый период ознаменовался фундаментальными исследованиями, то последующие – мониторинговые на тех же модельных мелиоративных системах. Необходимость и важность проведения эколого-паразитологического мониторинга за гельминтофауной мелких грызунов, населяющих берега каналов на мелиорированных территориях, была установлена после первого периода исследований [1].

В 2017 году на модельных мелиоративных системах в Брестском Полесье на территории Брестского, Жабинковского и Малоритского районов Брестской области по берегам мелиоративных каналов, проходящих на пахотных землях, было отработано 1000 ловушко-суток (л-с). Отловлено 190 мелких грызунов 6-ти видов. Как и в предыдущие годы исследований зверьков отлавливали давилками «Геро», которые выставлялись в линию по 25 штук через 1,5–2 м друг от друга, приманкой служили кусочки ржаного хлеба, нарезанные кубиками и обжаренные на подсолнечном масле, а численность зверьков определялась с помощью л-с. Травянистая растительность на берегах и склонах каналов периодически обкашивалась.

Для исследования и обработки материала использовали стандартные процедуры, как и во все предыдущие периоды: метод полного гельминтологического вскрытия грызунов, включающий компрессирование тканей и органов, а также такие показатели, как экстенсивность инвазии (ЭИ), интенсивность инвазии (ИИ), индекс обилия (ИО).

В таблице 1 приведены сведения о видовом составе грызунов, пойманных на берегах мелиоративных каналов на пахотных землях, их численности на 100 л-с, количестве исследованных и зараженных гельминтами.

Таблица 1 – Видовой состав, численность, количество исследованных и зараженных гельминтами мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов, проходящих по пахотным землям

Вид животного	Количество												
	исследованных				на 100 л-с	зараженных							
	♂♂	♀♀	П	НП		♂♂	♀♀	П	НП	Т	Ц	Н	А
Полевка обыкновенная – <i>Microtus arvalis</i> Pallas, 1778	46	57	27	76	10,3	36	45	26	55	2	24	70	–
Полевка-экономка – <i>M. oeconomus</i> Pallas, 1776	4	11	8	7	1,5	3	5	5	3	–	5	5	–
Полевка рыжая – <i>Myodes glareolus</i> (Schreber, 1780)	7	5	6	6	1,2	5	4	6	3	–	2	9	–
Мышь полевая – <i>Apodemus agrarius</i> Pallas, 1771	24	17	29	12	4,1	20	14	23	11	1	5	33	1
Мышь желтогорлая – <i>A. flavicollis</i> Melchior, 1884	5	11	9	7	1,6	4	10	9	5	1	3	13	–
Мышь лесная – <i>A. sylvaticus</i> Linnaeus, 1758	2	1	3	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–

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

Общая численность мелких грызунов на берегах мелиоративных каналов, проходящих на пахотных землях, довольно высокая и составила 19 особей на 100 л-с. Доминировала обыкновенная полевка (10,3 особей на 100 л-с). Субдоминантом была полевая мышь (4,1 особь на 100 л-с). Эти животные являются фоновыми видами среди мелких грызунов на берегах мелиоративных каналов на пахотных землях, что подтверждается предыдущими исследованиями [1, 2].

Общая зараженность зверьков гельминтами оказалась 76,8 %. Это несколько выше, чем у грызунов, населяющих берега открытых каналов в смешанных лесах (66,7 %) [3]. Высокие проценты зараженности были у полевых и желтогорлых мышей (82,9 и 87,5 %, соответственно). У полевок они оказались ниже: обыкновенные полевки инвазированы на 78,6 %, рыжие полевки – на 75,0 %, полевки-экономки – на 53,3 %. У 3-х отловленных лесных мышей (2 самца и 1 самка) гельминтов не обнаружено.

Существенной разницы в зараженности самцов и самок гельминтами не имеется: самцы заражены на 77,3 %, а самки – на 76,5 %. Половозрелые особи более интенсивнее инвазированы, чем неполовозрелые (на 84,2 и 71,3 %, соответственно). Чаще мелкие грызуны заражаются нематодами (68,4 %). Более чем в 3 раза меньше инвазируются цестодами (20,5 %). Значительно реже выявляются заражения трематодами (2,1 %) и как редкость – акантоцефалами (0,5 %). Чаще мелкие грызуны заражены одним видом гельминтов (суммарно на 46,8 %). У 30,0 % популяции зверьков выявлено паразитирование 2–4 видов гельминтов.

Всего у мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов на пахотных землях, найдено 24 вида гельминтов: 3 вида трематод, 9 видов цестод, 11 видов нематод и 1 вид акантоцефалов. Больше всего видов гельминтов (9) было у обыкновенных полевых. Видовой состав гельминтов и зараженность ими мелких грызунов представлены в таблице 2.

Как было указано выше, в заражении мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов на пахотных землях, преобладают нематоды. Так, нематодой *Syphacia nigeriana* Baylis, 1928 чаще заражались обыкновенные полевки и полевки-экономки (ЭИ 49,5 и 33,3; ИИ 1–72 и 1–12; ИО 3,44 и 2,27; соответственно), нематодой *Heligmosomoides polygyrus* (Dujardin, 1845) – полевые и желтогорлые мыши (ЭИ 73,2 и 75,0; ИИ 1–238 и 1–52; ИО 11,5 и 7,31; соответственно), нематодой *Heligmosomum mixtum* Schulz, 1954 – рыжие полевки (ЭИ 66,7; ИИ 1–2; ИО 0,92). Еще можно выделить несколько видов гельминтов характеризующихся значительным процентом инвазированнойности некоторых грызунов. Например, цестодой *Paranoplocephala omphalodes* (Hermann, 1783) поражено 21,4 % обыкновенных полевых и 26,7 % полевых-экономок, нематодой *Syphacia agraria* Sharpilo, 1973 – 26,8 % полевых мышей, нематодой *S. frederici* Roman, 1945 – 31,3 % желтогорлых мышей, нематодой *Heligmosomoides laevis* (Dujardin, 1845) – 30,1 % обыкновенных полевых.

Таблица 2 – Зараженность гельминтами мелких грызунов, отловленных на берегах мелиоративных каналов в смешанных лесах

Виды гельминтов	Хозяин	ЭИ	ИИ	ИО
Трематоды				
<i>Psilotrema spiculigerum</i> (Mühling, 1898) ³	Полевка обыкновенная	1,0	1	0,01
<i>Notocotylus noyeri</i> Joyeux, 1922	Полевка обыкновенная	1,0	1	0,01
<i>Plagiorchis elegans</i> (Rudolphi, 1802) ^{1, 2, 3, 4}	Мышь полевая	2,4	1	0,02
	Мышь желтогорлая	6,3	9	0,56
Цестоды				
<i>Anoplocephaloides dentata</i> (Galli-Valerio, 1905)	Полевка обыкновенная	1,0	2	0,02
<i>Paranoplocephala omphalodes</i> (Hermann, 1783)	Полевка обыкновенная	21,4	1–3	0,29
	Полевка-экономка	26,7	1–1	0,27
<i>Skrjabinotaenia lobata</i> (Baer, 1925)	Мышь желтогорлая	6,3	56	3,50
<i>Hymenolepis diminuta</i> (Rudolphi, 1819) ¹	Мышь полевая	9,8	1–8	0,34
	Мышь желтогорлая	12,5	1–6	0,44
<i>H. horrida</i> (Linstow, 1901)	Полевка рыжая	8,3	6	0,50
<i>Rodentolepis asymmetrica</i> (Janicki, 1904)	Полевка обыкновенная	1,0	4	0,04
<i>Cladotaenia globifera</i> (Batsch, 1786), larvae ³	Полевка рыжая	7,6	386	32,2
	Мышь полевая	4,9	52–188	5,85
<i>Taenia mustelae</i> Gmelin, 1790, larvae ⁴	Полевка-экономка	6,7	1	0,07
<i>T. taeniaeformis</i> (Batsch, 1786), larvae ^{1, 2, 4}	Полевка обыкновенная	1,0	1	0,01
	Полевка-экономка	6,7	1	0,07
Нематоды				
<i>Pterothominx sadovskoi</i> (Morosov, 1956)	Мышь желтогорлая	18,8	2–6	0,75
<i>Trichuris muris</i> (Schrank, 1788)	Полевка рыжая	8,3	1	0,08
<i>Syphacia agraria</i> Sharpilo, 1973	Мышь полевая	26,8	1–86	4,29
<i>S. frederici</i> Roman, 1945	Мышь желтогорлая	31,3	4–42	6,75
<i>S. nigeriana</i> Baylis, 1928	Полевка обыкновенная	49,5	1–72	3,44
	Полевка-экономка	33,3	1–12	2,27
<i>S. petrusewiczii</i> Bernard, 1966	Полевка рыжая	8,3	1	0,08
<i>S. stroma</i> (Linstow, 1884)	Мышь желтогорлая	6,3	4	0,25
<i>Heligmosomoides laevis</i> (Dujardin, 1845)	Полевка обыкновенная	30,1	1–15	1,37
	Полевка-экономка	6,7	1	0,07
<i>H. polygyrus</i> (Dujardin, 1845)	Мышь полевая	73,2	1–238	11,5
	Мышь желтогорлая	75,0	1–52	7,31
<i>Heligmosomum costellatum</i> (Dujardin, 1845)	Полевка обыкновенная	8,7	1–6	0,17
<i>H. mixtum</i> Schulz, 1954	Полевка рыжая	66,7	1–2	0,92
Акантоцефалы				
<i>Moniliformis moniliformis</i> (Bremser, 1811) ^{1, 2, 4}	Мышь полевая	2,4	1	0,02

Примечание. Индексом ¹ обозначены гельминты, известные в мире как паразиты человека; индексом ² – имеющие ветеринарное значение; индексом ³ – облигатными дефинитивными хозяевами которых являются птицы; индексом ⁴ – дефинитивными хозяевами которых являются хищные млекопитающие.

Два вида гельминтов раньше у мелких грызунов на берегах мелиоративных каналов не встречались. Это трематода *Psilotrema spiculigerum* (Mühling, 1898) и акантоцефал *Moniliformis moniliformis* (Bremser, 1811). Для трематоды установлен новый в Беларуси хозяин – обыкновенная полевка. Один экземпляр этой трематоды локализовался в кишечнике половозрелой самки обыкновенной полевки, отловленной 25.07.2017 г. на берегу открытого канала у скошенного поля ржи мелиоративной системы, расположенной в окрестностях д. Семисосны Брестского района. Этот вид трематод является паразитом водоплавающих птиц и не характерен для грызунов [4]. В Беларуси его личинки находили в брюхоногом моллюске *Bithynia tentaculata* (Linnaeus, 1758), а половозрелых особей – у нутрии и водяной полевки [5]. А вот акантоцефал впервые найден в Беларуси. Его хозяином оказалась полевая мышь, половозрелый самец которой попал в давилку «Геро» 17.07.2017 г. на берегу открытого канала у поля ржи мелиоративной системы, находящейся в окрестностях 20-го км автодороги Брест–Ковель, расположенной в Малоритском районе на границе с Брестским районом. Гельминт локализовался в кишечнике. Когда он был извлечен из кишечника и помещен в чашку «Петри» с физиологическим раствором, сразу свернулся в кольцо. В течение 2 часов он сохранял жизнеспособность. Затем был зафиксирован в этиловом спирте. Длина живого экземпляра была короче, чем мертвого (5,5 и 6,7 см, соответственно). Им оказался самец с хорошо выраженной ложной сегментацией тела и хоботком с крючьями, расположенными в 12 рядов по 7 крючьев в каждом. Этот вид гельминта имеет медико-ветеринарное значение, является возбудителем монилиформоза человека, домашних собак и кошек. Облигатные дефинитивные хозяева этого паразитического червя – мелкие грызуны, а факультативными дефинитивными хозяевами могут быть хищные млекопитающие. Требуется изучения функционирования очага (очагов) монилиформоза на территории Малоритского района и, возможно, граничащего с ним Брестского района, а также участие в этом не только грызунов, но и бродячих кошек и собак.

Четыре вида гельминтов, обнаруженных нами у грызунов, имеют медико-ветеринарное значение (таблица 2). Все они известны в мире как паразиты человека (ими заражено 5,8 % исследованных грызунов, пойманных на берегах мелиоративных каналов на пахотных землях), домашних кошек и собак (ими заражено 2,6 % грызунов).

Также мелкие грызуны вовлекаются в жизненные циклы гельминтов, дефинитивными хозяевами которых являются птицы (3 вида гельминтов) и хищные млекопитающие (4 вида гельминтов) (таблица 2).

Благодаря мониторингу за гельминтофауной мелких грызунов, населяющих берега открытых каналов на мелиорированных территориях Белорусского Полесья, удалось установить участие этих животных в циркуляции многих видов гельминтов, включая имеющих медико-ветеринарное значение, а также выявить новые для Беларуси виды гельминтов и новых хозяев паразитических червей среди грызунов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шималов, В.В. Гельминтофауна мелких грызунов (Mammalia: Rodentia) берегов каналов на мелиорированных территориях / В.В. Шималов // Паразитология. – 2002. – Вып. 3. – С. 247–252.
2. Шималов, В.В. Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов берегов мелиоративных каналов Белорусского Полесья / В.В. Шималов // Паразитология. – 2013. – Вып. 1. – С. 38–46.
3. Шималов В.В. Мониторинг гельминтофауны мелких грызунов, населяющих берега мелиоративных каналов в смешанных лесах Белорусского Полесья / В.В. Шималов // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века: материалы 21-й междунар. науч. конф., 20–21 мая 2021 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А.Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С.А. Маскевича, к.т.н., доцента М.Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – Ч. 2. – С. 226–230.
4. Определитель гельминтов грызунов фауны СССР. Цестоды и трематоды / К.М. Рыжиков, Е.В. Гвоздев, М.М. Токобаев и др. – М.: Наука, 1978. – С. 147.
5. Гельминты позвоночных животных и человека на территории Беларуси: каталог / Е.И. Бычкова, Л.Н. Акимова, С.М. Дегтярик, М.М. Якович. – Минск: Беларуская навука, 2017. – С. 191–192.

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ НА СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ ДИКЕТОНОВ И ТРИКЕТОНОВ В РАСТВОРАХ

INFLUENCE OF ACID-BASE PROPERTIES OF THE ENVIRONMENT ON THE SPECTRAL AND LUMINESCENT PROPERTIES OF SOME CYCLIC DIKETONES AND TRIKETONES IN SOLUTIONS

А. Н. Пырко^{а,б}, С. Л. Бондарев^в, Т. Ф. Райченко^в, А. С. Пилипович^в
A. N. Pyrko^{a,b}, S. L. Bondarev^e, T. F. Raichenok^e, A. S. Pilipovich^e

^аБелорусский государственный университет, БГУ

^бУчреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
pyrko@yandex.ru, kbb@iseu.by

^вГосударственное научное учреждение «Институт физики имени Б. И. Степанова
Национальной академии наук Беларуси»

^аBelarusian State University, BSU

^бInternational Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

^вState Scientific Institution "B.I. Stepanov Institute of Physics
of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

Исследованы спектрально-люминесцентные свойства транс-2-(4'-диметиламинбензилиденацетил)-5,5-диметилциклогексан-1,3-диона и 10-гидрокси-3,3,6,6,9-пентаметил-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-декагидроакридин-1,8-диона в зависимости от кислотно-основных свойств среды. Показано, что первое соединение может находиться в виде трех различных структурных форм, а второе – в растворителях с высоким параметром основности обладает дуальной флуоресценцией. Эти свойства хромофоров могут быть использованы в химическом анализе для индикации кислотно-щелочного равновесия среды.

The spectral and luminescent properties of trans-2-(4'-dimethylaminebenzylideneacetyl)-5,5-dimethylcyclohexane-1,3-dione and 10-hydroxy-3,3,6,6,9-pentamethyl-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-decahydroacridine-1,8-dione have been studied depending on the acid-base properties of the medium. It has been shown that the first compound can exist in the form of three different structural forms, while the second compound exhibits dual fluorescence in solvents with a high basicity parameter. These properties of chromophores can be used in chemical analysis to indicate the acid-base equilibrium of the medium.

Ключевые слова: органический синтез, циклические ди-, трикетоны, спектры, флуоресценция.

Keywords: organic synthesis, cyclic di-, triketones, spectra, fluorescence.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-141-144>

Спектральные методы фотометрии и люминесценции, используемые для качественного и количественного анализа органических и неорганических соединений, загрязняющих окружающую среду в результате деятельности человека, позволяют определять не только рекордно низкие следовые количества элементов (10^{-5} мкг/мл), но и исследовать процессы их межмолекулярного взаимодействия со средой. В результате удается получить детальную информацию о динамике фотофизических и фотохимических процессов вещества, протекающих в возбужденных электронных состояниях при их возбуждении различными видами энергии. Главным образом, это ультрафиолетовое и видимое излучения. Продукты межмолекулярного взаимодействия, возникшие в ходе фотохимических и фотофизических процессов органических/неорганических молекул с реактивной жидкой или газообразной средой, попадая в атмосферу, создают неблагоприятные условия для жизнедеятельности человека, животных и растений.

О характере физико-химического воздействия выбросов химического производства в биосферу позволяют судить научно-практические исследования в лабораторных условиях на молекулярных системах, моделирующих процессы межмолекулярного взаимодействия в природных условиях. С этой целью нами были синтезированы гетероциклические соединения, содержащие циклические группировки с присоединенными к ним электроноакцепторными карбонильными, электронодонорными диметиламино- и енольной группами: транс-2-(4'-диметиламинбензилиден ацетил)-5,5-диметил-циклогексан-1,3-дион (ДМД) [1–3]

и 10-гидрокси-3,3,6,6-тетраметил-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-декагидроакридин-1,8-дион (9,10-АКД) [4-5]. Их структурные формулы изображены на Рис. 1а и 1б. Представленное на Рис. 1а соединение включает в себя как фрагменты с внутри- и межмолекулярной водородной связью (ВС), так и электроно-донорные и электроно-акцепторные (ЭДА) заместители. Наличие в соединении 1б двух фрагментов с резко отличающимися ЭДА-свойствами (ЭД нижняя часть молекулы с **NOH** – группой) и ЭА верхняя часть молекулы с двумя карбонильными группами. Здесь также возможны процессы с переносом протона внутри ВС, образовавшейся уже в возбужденном электронном состоянии.

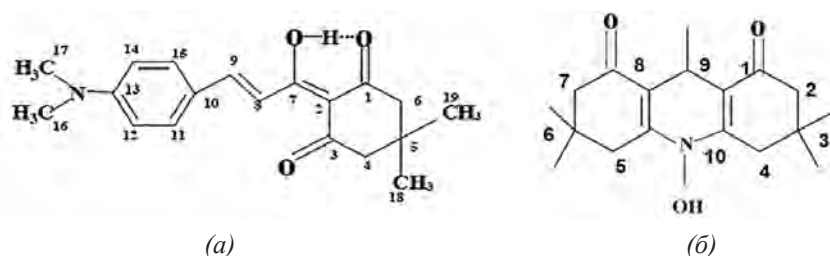


Рисунок 1 – Структурные формулы 1а (ДМД) и 1б (9,10-АКД)

В качестве второго компонента, моделирующего внешнюю реакционноспособную среду, были выбраны растворители, которые отличались друг от друга такими важными физико-химическими параметрами, как показатель преломления n , диэлектрическая проницаемость d , вязкость η и температура T . При исследовании механизмов взаимодействия хромофора с растворителем приходилось учитывать такой параметр растворителя, как основность **SB** (solvent basicity) [6]. Также важное место в настоящей работе занимали современные экспериментальные методы исследований с использованием спектрально-люминесцентной аппаратуры, действующей в широком спектральном (200 – 1200 нм) и временном (10^{-3} – 10^{-9} с) диапазонах.

На практике результаты, полученные в данной работе, могут найти применение в химических производствах лазерных красителей [7], медицинских препаратов [8], катализаторов фотополимеризации [9].

Методика эксперимента. Синтез, используемых в данной работе соединений, описан в [1–5].

Спектры поглощения регистрировались на спектрофотометре Cary-500 (США). Люминесцентные измерения проводились в необезгаженных растворах на спектрофлуориметре SOLAR (Беларусь) с регистрацией спектров флуоресценции и возбуждения флуоресценции в диапазоне 200–800 нм. Квантовые выходы флуоресценции ($\Phi_{\text{фл}}$) измерены относительно хинин-сульфата в 1 N H_2SO_4 с $\Phi_{\text{фл}} = 0.55$ [10]. Растворы ДМД с различным значением готовились с помощью универсальной буферной смеси, состоящей из смеси уксусной, фосфорной и борной кислот.

Наносекундные кинетики флуоресценции измерены методом счета единичных фотонов на флуорометре HORIBA Jobin Yvon (Япония). Возбуждение осуществлялось при длине волны 340 нм с помощью светодиода NanoLED-340. Для регистрации использован монохроматор (1200 штр/мм) с модулем пикосекундного счета фотонов. Деконволюция с инструментальным откликом системы (prompt) и аппроксимация кинетик затухания проведены с помощью программы DAS-6 (v. 6.2) (HORIBA Jobin Yvon).

Результаты и их обсуждение

а) спектрально-люминесцентные свойства ДМД в неполярных и полярных растворах

Из приведенных на Рис. 2а и 2б спектров поглощения и флуоресценции ДМД в неполярном растворителе н-гексане и полярном диметилформамиде (ДМФ) видно, что в случае ДМФ наблюдается сильная зависимость формы и положения спектров флуоресценции от длины волны возбуждения, а в н-гексане она отсутствует. При ступенчатом изменении $\lambda_{\text{возб.}}$ с шагом 20 нм можно выделить 3 люминесцирующих формы с максимумами при 450, 515 и 580 нм. При регистрации в этих максимумах наблюдались спектры возбуждения флуоресценции соответственно с максимумами при 335, 380 и 470 нм. Первая форма – *енольная*, с водородной связью между атомами гидроксильного и карбонильного кислорода, соответствуют спектры поглощения и флуоресценции в ДМФ с максимумами при 470 и 580 нм (Рис. 2б). При этом вся сопряженная система молекулы включает в себя также малое кольцо с водородной связью. Следующая форма молекулы ДМД в ДМФ характеризуется спектром поглощения с максимумом при $\lambda_{\text{погл.}} = 380$ нм и спектром флуоресценции с максимумом при $\lambda_{\text{фл.}} = 515$ нм. При установлении молекулярной структуры этой спектральной формы необходимо учитывать тот факт, что в сильно полярной среде, к которой принадлежит ДМФ, может происходить переход из *енольной* формы в *кето*-форму. При этом промежуточной формой между енол и кето формами будет ионная форма в виде аниона ДМД. Мы предполагаем, что анионная форма ДМД соответствует форме со спектром флуоресценции с максимумом при $\lambda_{\text{фл.}} = 515$ нм. И наконец, третья коротковолновая спектральная форма с максимумами полос поглощения и флуоресценции при 335 нм и 450 нм может быть обусловлена катионной формой. Как видно из Рис. 3 при переходе от кислых сред к щелочным ДМД участвует в образовании всех трех форм. Этот результат дает основание предложить ДМД в качестве индикатора кислотно-щелочного равновесия среды позволяет использовать ДМД в качестве индикатора кислотно-щелочного равновесия среды.

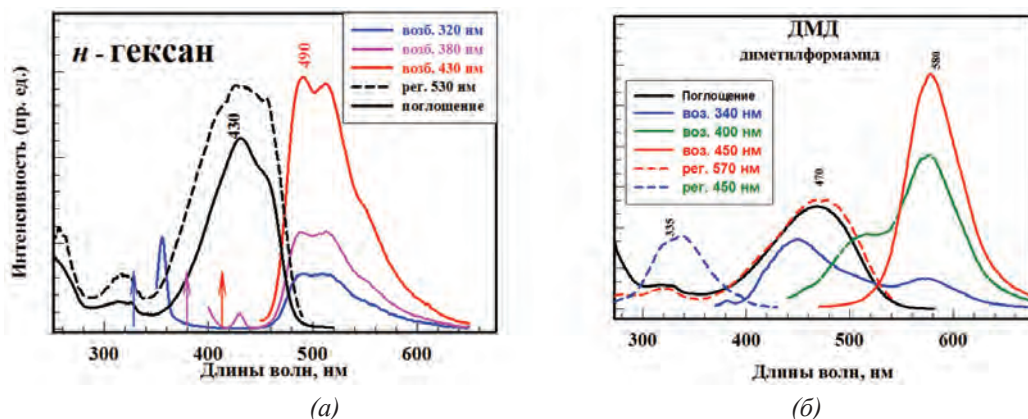


Рисунок 2 – Спектры поглощения, флуоресценции и возбуждения флуоресценции ДМД в гексане (а) и ДМФ (б)

б) дуальная флуоресценция 9,10-АКД в полярных основных растворителях

Длинноволновая полоса поглощения в спектрах поглощения красителя во всех растворителях представляет собой широкую вибронную полосу с максимумом в диапазоне 370–390 нм, которая соответствует разрешенному $S_0 \rightarrow S_1$ электронному переходу. Этот переход формируется в результате внутримолекулярного переноса заряда от электроно-донорной части молекулы, локализованной на атоме азота в положении 10, к электроноакцепторным атомам кислорода в положениях 1 и 8. В отличие от спектров поглощения, спектры флуоресценции 9,10-АКД сильнее зависят от природы растворителей. По воздействию на спектры флуоресценции растворители можно разделить на две группы. В первую группу входят хлористый метилен (ДХМ), ацетонитрил и глицерин. Для них характерно наличие одной полосы флуоресценции и независимость спектров флуоресценции и возбуждения флуоресценции от длины волны возбуждения и регистрации. Во второй группе растворителей – N,N-диметилформамид (ДМФ), диметилсульфоксид (ДМСО) и спирты метанол, этанол. Для этой группы растворителей зарегистрированы дуальная флуоресценция и зависимость спектров флуоресценции и возбуждения флуоресценции от длины волны возбуждения и регистрации.

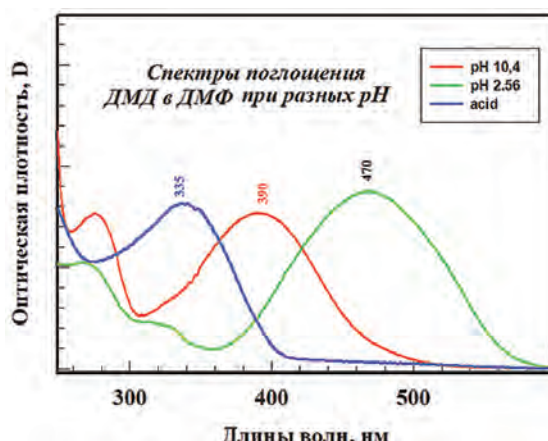


Рисунок 3 – Спектры поглощения ДМД в ДМФ при изменении pH среды

Так, при более длинноволновом возбуждении (420 нм) в спектрах флуоресценции в ДМФ, ДМСО и спиртах возрастает интенсивность длинноволновой флуоресценции (ДФ), а спектр возбуждения флуоресценции при регистрации в полосе ДФ смещается относительно спектра возбуждения при регистрации в полосе КФ в длинноволновую сторону на 20 нм. Различие в спектрах флуоресценции 9,10-АКД в ацетонитриле и ДМСО наиболее проявляется в координатах $I_{\text{полд}}/\nu$ и $I_{\text{фл}}/\nu^4$ (рис. 4), в которых строго выполняется закон зеркальной симметрии.

Отсутствие ДФ в ДХМ, ацетонитриле и глицерине невозможно объяснить на основании физико-химических параметров растворителей n и d , которые в случае ДМСО характеризуются максимальными значениями. Так, для ацетонитрила d больше, чем для этанола и метанола, а ДФ не обнаружена. Также ДФ не зарегистрирована в глицерине, для которого $d = 42.5$.

Отсутствие ДФ в глицерине можно объяснить высокой вязкостью ($\eta = 10$ Пз), которая в 1000 раз больше, чем этанола и метанола. Кроме того, ДФ не обнаружена в этаноле при 77 К. Объяснению высокой вязкостью противостоят данные η для ДМСО и ДМФ, которые в несколько раз превышают таковые для ДХМ и ацетонитрила, и ДФ в них надежно регистрируется.

Кинетики флуоресценции 9,10-АКД в ацетонитриле и ДМСО различаются характером затухания. Так, кинетика в ацетонитриле, как и в ДХМ, характеризуется моноэкспоненциальной зависимостью. В ДМСО при $\lambda_{\text{рег.}} = 480$ нм кинетика следует двухэкспоненциальному закону. Необходимо отметить, что при регистрации по спектру КФ в ДМСО доля короткоживущей компоненты 1.4 нс возрастает от 42 % ($\lambda_{\text{рег.}} = 450$ нм) до 91 % ($\lambda_{\text{рег.}} = 580$ нм).

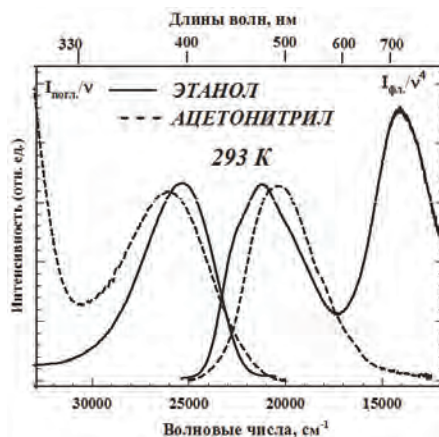


Рисунок 4 – Спектры поглощения и флуоресценции 9,10-АКД в ацетонитриле и этаноле

Закключение. Методами люминесценции показано, что молекула аминопроизводного циклического β -трикетона (ДМД) в зависимости от кислотно-основных свойств среды может находиться в виде трех различных структурных форм. Это свойство хромофора может быть использовано в химическом анализе, например, для индикации кислотно-щелочного равновесия среды.

Спектрально-кинетические исследования 9,10-АКД в различных растворителях показали сильную зависимость спектров люминесценции от такого параметра растворителя, как основность SB [6], который определяет его электронодонорную способность. В растворителях с высокой основностью – диметилсульфоксиде (0.647), диметилформамиде (0.613), метаноле (0.545) и этаноле (0.685) – впервые зарегистрирована дуальная флуоресценция, состоящая из коротковолновой (460–490 нм) и длинноволновой (670–710 нм) полос. В растворителях с низкой основностью – ацетонитриле (0.286), хлористом метиле (0.178) и глицерине (0.309) – спектр флуоресценции имеет одну коротковолновую полосу. В результате анализа спектральных и кинетических данных затухания и разгорания флуоресценции 9,10-АКД в ДМСО установлен механизм образования дуальной флуоресценции из коротковолновой флуоресценции, который состоит в депротонировании молекулы в возбужденном состоянии с последующим высвечиванием его аниона. Полученные результаты дают полезную информацию о механизме межмолекулярного взаимодействия полярной среды с молекулой хромофора. Благодаря обнаружению дуальной флуоресценции 10-гидрокси-3,3,6,6-тетраметил-9-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-декагидроакридин-1,8-дион может найти практическое применение в биологии и медицине в качестве флуоресцентного зонда для тестирования полярности среды, а также в аналитической химии в качестве кислотно-щелочного индикатора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф20Р-340).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пырко, А.Н. Способ получения циклических β -трикетонов / А.Н. Пырко // ЖОрХ. – 1991. – Т. 27, № 10. – С. 2237 – 2238.
2. α,β -Непределённые циклические β -трикетоны: пат. ВУ 8132 / А.Н. Пырко, С.Л. Бондарев, И.И. Калоша. – Оpubл. 30.06.2006.
3. Ляхов, А.В. Кристаллическая и молекулярная структура транс-2-(4-диметиламинобензилиденацетил)-5,5-диметилциклогексан-1,3-диона / А. В. Ляхов, С. Л. Бондарев, А. Н. Пырко // Кристаллография. – 2005. - Т. 50, № 3, с. 445–449.
4. Pyrko A.N. Synthesis and Transformations of New 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-Decahydroacridine-1,8-dione Derivatives / A.N. Pyrko // Russian Journal of Organic Chemistry. - 2008, Vol. 44, N. 8 - P. 1215–1224.
5. Пырко, А.Н. Синтез и использование 10-гидрокси-3,3,6,6-тетраметил-9-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-декагидроакридин-1,8-диона в качестве индикатора кислотно-основного титрования / А.Н. Пырко // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 556-563.
6. J. Catalan, C. Diaz, P. Perez, J.-L. G.dePaz, J. G. Rodriguez. A Generalized Solvent Basicity Scale: The Solvatochromism of 5-Nitroindoline and Its Homomorph 1-Methyl-5-nitroindoline Liebigs Ann. 1996. N. 11. – P. 1785–1994.
7. P. Shanmugasundaram, K. J. Prabakar, V. T. Ramakrishnan. Facile Synthesis of Electroluminescence Acridinediones by Microwave and Ultrasound J. Heterocycl. Chem. 1993. V. 30, N.9. – P. 1003–1007.
8. N. Sahiba, A. Sethiya, S. Agarwal. Acridine-1,8-diones: Synthesis and Biological Applications Chem. Sel. 2021. V.6, N.9. – P. 2210–2251.
9. J. P. Foussier, F. Morlet-Savary, J. Lalevee, C. Ley. Dyes as Photoinitiators or Photosensitizers of Polymerization Reactions Materials. 2010. V.3. P. 5130–5442.
10. J. N. Demas, G. A. Crosby. The Measurement of Photoluminescence Quantum Yields J. Chem. Phys. – 1971. – V. 75, N. 8. – P. 991–1012.

**АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА
БЕНЗОЛОМ, ТОЛУОЛОМ И КСИЛОЛОМ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ**
**ANTHROPOGENIC AIR POLLUTION WITH BENZENE,
TOLUENE AND XYLOL IN THE CITIES OF BELARUS**

А. М. Людчик¹, Е. А. Мельник², П. Н. Павленко³, А. О. Сычевский⁴
A. M. Liudchik, E. A. Melnik, P. N. Paulenka, A. O. Sychevsky

¹Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь
liudchikam@tut.by

²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения
и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Республика Беларусь
kbb@rad.org.by

³Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
pavlenko_pn@mail.ru

⁴Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь
a.i.g.o.r@mail.ru

National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination
ntal Monitoring, Minsk, Republic of Belarus
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus
Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Представлены данные о сезонном ходе концентраций бензола, толуола и ксилола в воздухе областных городов Беларуси в разные годы. Концентрации антропогенных загрязнений обычно минимальны в летний период и максимальны зимой, что обусловлено сезонными изменениями состояния атмосферы.

Data on the seasonal concentrations of benzene, toluene and xylene in the air of the regional centers of Belarus are presented for different years. Concentrations of anthropogenic pollutants are usually minimal in the summer and maximal in winter, which is due to seasonal changes of the state of the atmosphere.

Ключевые слова: антропогенные загрязнители воздуха, сезонный ход, летучие органические соединения.

Keywords: anthropogenic air pollutants, seasonal course, volatile organic compounds.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-145-148>

Национальная система мониторинга окружающей среды включает в себя наблюдения за концентрацией в приземном воздухе таких летучих органических соединений (ЛОС) антропогенного происхождения, как бензол, толуол и ксилол. Наблюдения ведутся во всех областных и некоторых других городах страны, а также в Березинском биосферном заповеднике. Мониторинг присутствия в воздухе ЛОС важен не только потому, что они оказывают вредное воздействие на здоровье людей. Названные соединения способствуют генерации озона – вторичного загрязнителя воздуха, также опасного для здоровья и угнетающего растительность.

Помимо ЛОС, выбросы которых обусловлены человеческой деятельностью, имеется ряд веществ естественного происхождения, участвующих в процессах генерации озона в приземном слое воздуха. К ним относятся в первую очередь терпены и изопрены, являющиеся продуктами жизнедеятельности хвойных и лиственных деревьев. Наиболее сильно их действие проявляется в сельской местности, однако имеются свидетельства их влияния на приземный озон и в городах. [2]. В настоящее время мониторинг концентрации названных веществ в Беларуси не ведется.

В докладе приводятся сведения о среднемесячных концентрациях упомянутых ЛОС и их сезонной изменчивости. Концентрации загрязнений воздуха подвержены изменениям и в течение суток. Такого рода изменения зависят от режима работы источников загрязнений и меняющегося в течение суток состояния атмосферы. Эти особенности детально обсуждены в работах [1,2]. Здесь же анализируются изменения концентраций в зависимости от сезона и места наблюдений.

Графики среднемесячных концентраций ЛОС в областных городах Беларуси в разные годы приведены на рис. 1–6. Графики ЛОС, зарегистрированных на станции фоновых мониторинга Березинского биосферного заповедника не показаны, поскольку их среднемесячные концентрации как минимум на порядок ниже, чем в областных городах. Чаще всего среднемесячные концентрации ЛОС минимальны в летний период и максимальны весной. Судя по рисункам, в меньшей степени это относится к толуолу. Наиболее вероятной причиной такого

поведения является утренняя интенсификация источников загрязнений и вечернее их угасание в сочетании с дневной активацией процессов горизонтального и вертикального перемешивания воздуха.

Среднемесячные концентрации бензола во всех городах обычно ниже 0.5 ppb, хотя в некоторых городах в отдельные годы фиксируются существенные отличия. Так, в Гродно в зимне-весенний период 2014 и 2017 гг. среднемесячные значения колебались в пределах 0.4–1.1 ppb. В Минске на пункте 11 (Курасовщина) в конце 2013 г. среднемесячная концентрация бензола начала расти и достигла 2 ppb в феврале 2014 г., после чего в течение нескольких месяцев понизилась до обычного уровня – менее 0.4 ppb. Аналогичная ситуация характерна в этот период также и для Витебска, правда здесь концентрация поднималась только до уровня 1 ppb.

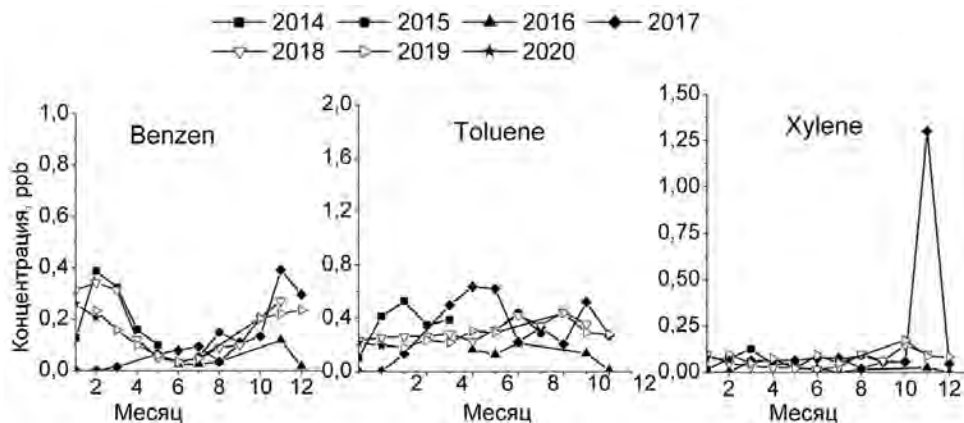


Рисунок 1 – Брест. Годовой ход среднемесячных концентраций летучих органических соединений в разные годы

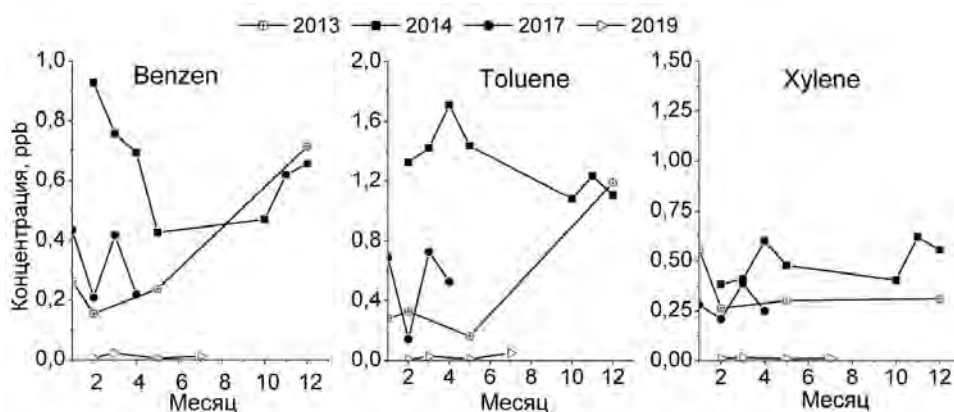


Рисунок 2 – Витебск. Годовой ход среднемесячных концентраций летучих органических соединений в разные годы

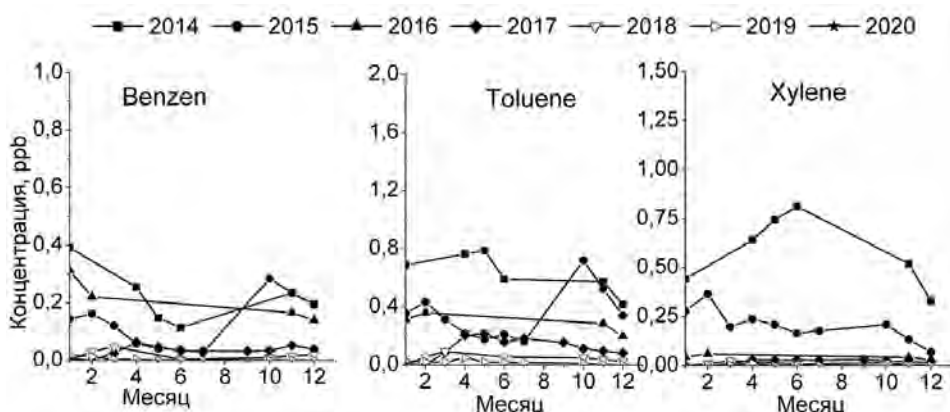


Рисунок 3 – Гомель. Годовой ход среднемесячных концентраций ЛОС в городском воздухе в разные годы

Причины такого поведения трудно определить, поскольку на регистрируемые концентрации загрязнений влияет не только интенсивность их выбросов из источников, но и метеорологические условия, в которых происходят такие выбросы. Система мониторинга атмосферного воздуха в Беларуси находится в стадии развития и совершенствования, и качество измерений со временем улучшается и расширяется сеть пунктов наблюдений. Загрязнение воздуха толуолом минимально в Бресте (меньше 0.5 ppb), несколько выше в Гомеле, а в других городах

(кроме Минска) среднемесячные концентрации не превышают 1 ppb. Что касается г. Минска, то повышенные концентрации толуола в отдельные месяцы регистрировались на пункте 11 (Курасовщина, ~ 2 ppb) в 2013 и 2014 гг. и на пункте 13 (Дражня, 2–4.5 ppb) в 2014 и 2015 гг.

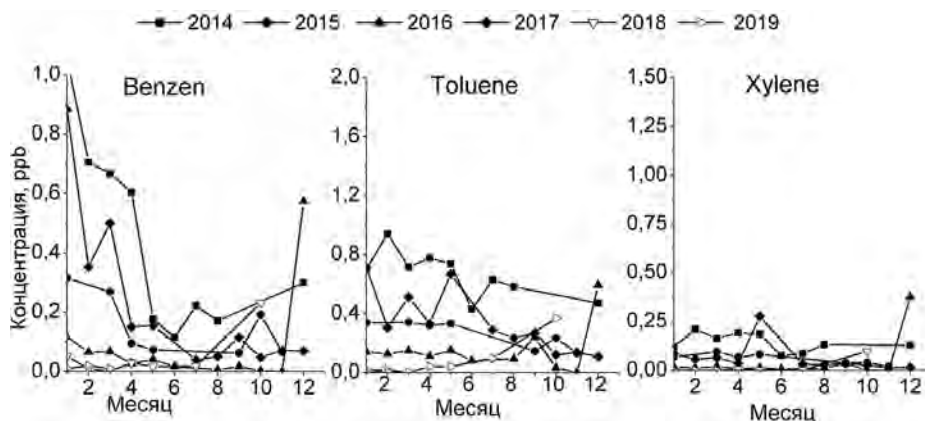


Рисунок 4 – Гродно. Годовой ход среднемесячных концентраций ЛОС в городском воздухе в разные годы

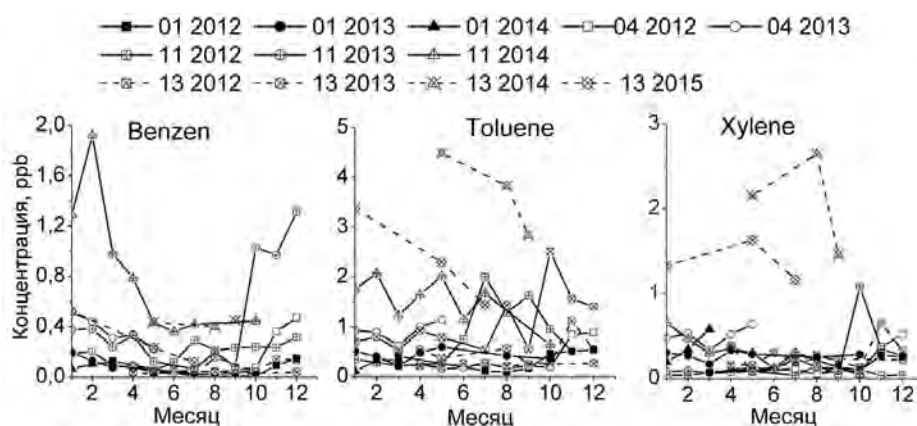


Рисунок 5 – Минск. Годовой ход среднемесячных концентраций ЛОС в городском воздухе в разные годы. В обозначениях кривых указаны также номера пунктов наблюдений

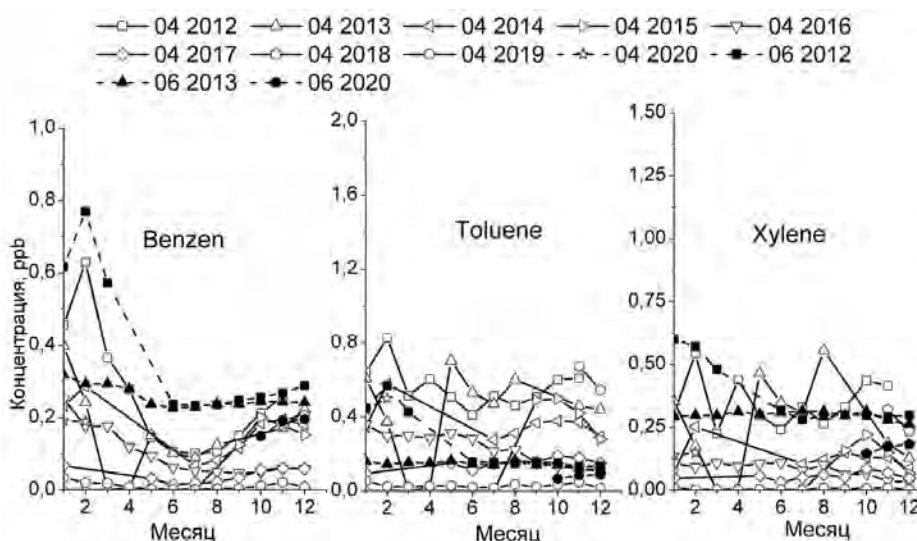


Рисунок 6 – Могилев. Годовой ход среднемесячных концентраций ЛОС в городском воздухе в разные годы. В обозначениях кривых указаны также номера пунктов наблюдений

Наименьшее загрязнение воздуха ксилолом отмечается в Бресте (меньше 0.05 ppb) и в Гродно (меньше 0.25 ppb). В Могилеве и Витебске среднемесячные концентрации не превышают 0.5 ppb, в Гомеле – 0.7 ppb. В Минске обычно тоже концентрации меньше 0.7 ppb, однако, как и в случае с толуолом, в 2014 – 2015 гг. фиксировались повышенные среднемесячные значения в пределах 1–2.5 ppb.

ЛИТЕРАТУРА

1. Божкова В.В. Флуктуации поля приземного озона в Беларуси, обусловленные метеорологическими условиями и антропогенным загрязнением воздуха /В. В. Божкова, А. М. Людчик, Е. А. Мельник // Природные ресурсы. – 2020. - № 1. – С. 80–91.
2. Bozhkova V. V. Influence of meteorological conditions on urban air pollution /V. V. Bozhkova, [et al] // Acta Geographica Silesiana, 14/4 (40) INoZ UŚ, Sosnowiec, 2020, s. 5–21.

ПРОБЛЕМЫ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН PROBLEMS OF FOOD SECURITY IN THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE WAYS OF THEIR SOLUTION IN THE CONDITIONS OF AGRO CLIMATIC ZONES

В. И. Залесова^{1,2}, Е. С. Лён^{1,2}

V. Zalesova^{1,2}, E. Len^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

kem@iseu.by, varvaraletova@gmail.com, missiselenas25@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Климат всегда оказывал значительное влияние на человеческую деятельность. Особенно подвергаются воздействию климата такие погодозависимые сферы экономики как сельское, водное и лесное хозяйство. Повышение температуры воздуха положительно сказывается на рост сельскохозяйственных культур и может привести к появлению новых для республики культур. Вместе с тем увеличение среднегодовой температуры имеет и недостатки, такие как снижение урожайности некоторых культур, появление у растений новых вредителей и заболеваний. Продовольственная безопасность как компонент национальной безопасности выступает своеобразным индикатором уровня развития общества. Ее достижение является одной из основных целей агропромышленной политики государства.

Climate has always had a significant impact on human activity. Such weather-dependent sectors of the economy as agriculture, water and forestry are especially affected by the climate. An increase in air temperature has a positive effect on the growth of agricultural crops and may lead to the emergence of new crops for the republic. At the same time, an increase in the average annual temperature also has disadvantages, such as a decrease in the yield of some crops, the appearance of new pests and diseases in plants. Food security as a component of national security acts as a kind of indicator of the level of development of society. Its achievement is one of the main goals of the agro-industrial policy of the state.

Ключевые слова: климат, агроклиматические зоны, сельское хозяйство, продовольственная безопасность.

Keywords: climate, agroclimatic zones, agriculture, food security.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-148-151>

За период наблюдений с 1989 по 2015 г. среднегодовая температура воздуха в Беларуси на 1,3 °С превысила климатическую норму, установленную Всемирной метеорологической организацией. В 2015 году среднегодовая температура воздуха составила +8,5 °С, что на 2,7 °С выше климатической нормы и оказалась самой высокой за весь период инструментальных наблюдений [1]. Характерной чертой нынешнего потепления является более высокая температура воздуха, которая повысилась за последние 20 лет примерно на 1 °С относительно климатической нормы [1], что показано на рисунке 1.

В результате длительного потепления произошло изменение границ агроклиматических зон (областей): Северная агроклиматическая область значительно сократила свои территории и в настоящее время составляет лишь порядка 2 % территории страны, а на юге Белорусского Полесья образовалась Новая, более теплая агроклиматическая область. Рисунок 2 отражает изменения границ агроклиматических зон Республики Беларусь [1].

Исследования показывают, что тенденции этих изменений в ближайшие десятилетия сохранятся. Значительное изменение условий произрастания сельскохозяйственных культур в результате потепления требует коррективов в практике ведения сельского хозяйства и учёта при разработке стратегии развития сельскохозяйственного производства и его адаптации к изменениям климата.

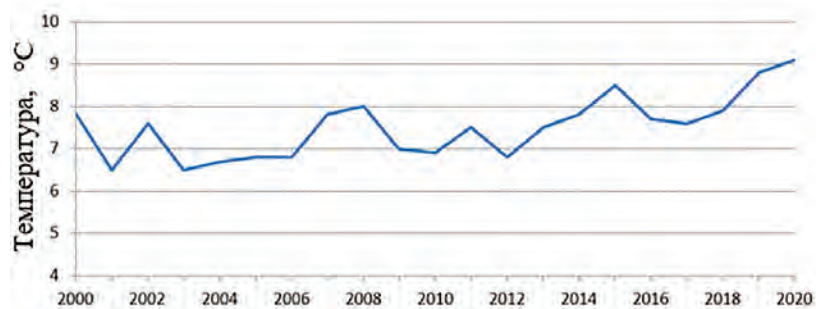


Рисунок 1 – Среднегодовая температура в Республике Беларусь за период 2000–2020 гг.

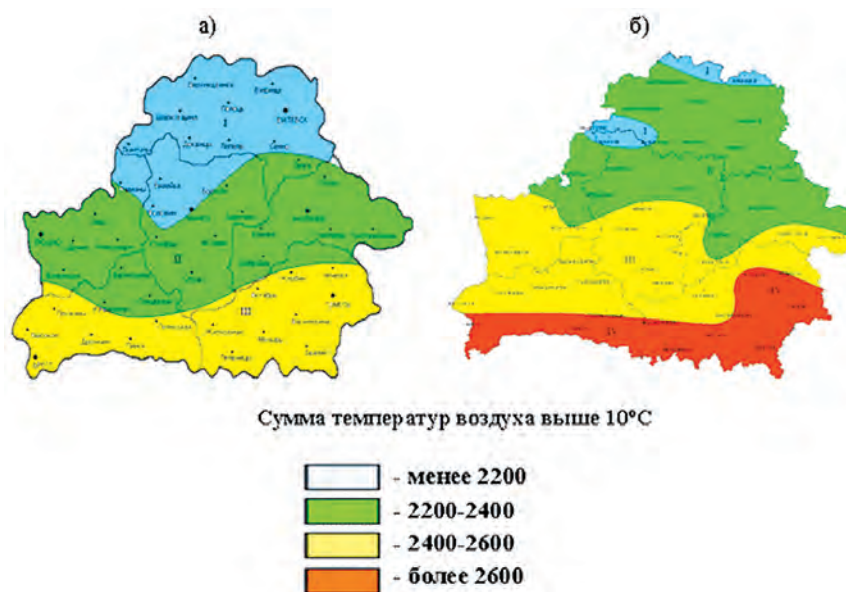


Рисунок 2 – Изменение границ агроклиматических зон Республики Беларусь. а) Границы агроклиматических областей до 1973 г. б) Границы агроклиматических областей за период потепления 1989–2015 гг.
I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая

Изменение климата вызывает как положительные, так и отрицательные последствия с точки зрения возделывания сельскохозяйственных культур.

К положительным изменениям климата можно отнести повышение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, уменьшение повторяемости зим минимальной температурой почвы, которая является опасной для озимых культур и повышение продолжительности пожнивного периода [2].

Повышение температуры также благоприятно сказывается на урожайности культур. Благодаря более теплому периоду многие культуры растут лучше и быстрее. Это может приводить к возделыванию нетипичных для республики культур, таких как арбузы, персики, сладкие сорта винограда и абрикосы. Однако более высокие температуры способствуют снижению урожайности таких культур как лён, капуста и картофель [2].

Рост теплообеспеченности способствует расширению и улучшению структуры растениеводства, однако при значительном повышении среднегодовой температуры сельское хозяйство в южных и восточных районах Республики Беларусь уже сталкивается с проблемой недостаточного обеспечения сельскохозяйственных культур влагой, пересыханием пахотного слоя и иными проявлениями засух [2].

Также среди отрицательных последствий можно выделить появление новых вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Среди болезней наиболее распространёнными на территории Республики Беларусь являются гнили (белая, розовая, серая), мозаичные болезни и рак (опухоли и наросты) [3].

Гнили – наиболее характерный тип проявления болезней, вызываемый грибами и бактериями. В зависимости от окраски пораженной ткани, гниль бывает белая, розовая и серая.

Мозаичные болезни растений – группа вирусных заболеваний растений, порождающих возникновение пятен различной окраски на поражённых органах. Мозаичные болезни поражают картофель, свёклу, сою, кукурузу, тыкву, пшеницу и прочие злаки, плодовые деревья и кустарники.

Раковые заболевания могут вызываться грибами, бактериями, вирусами, насекомыми и другими факторами. Характерный пример опухолей – корневой рак плодовых деревьев, рак картофеля, туберкулёз свёклы. Опухоли задерживают передвижение растворов питательных веществ, особенно при поражении главного корня или

корневой шейки. Поражённые растения нередко преждевременно гибнут. Рак картофеля может развиваться при температуре 12–24 °С и с относительной влажностью воздуха более 30% и при полном насыщении почвы влагой.

Вышеперечисленные заболевания развиваются при более высоких температурах. Таким образом, ареал их распространения сместился в сторону Новой агроклиматической области, имеющей самую высокую среднегодовую температуру. На территории Беларуси во всех агроклиматических зонах полностью обеспечены теплом озимые зерновые (рожь, пшеница, тритикале, ячмень), яровые зерновые (пшеница, ячмень, овёс, гречиха), а также рапс, горох, картофель, лён, капуста, свекла [4].

По характеру увлажнения территория Северной агроклиматической области относится к достаточному и избыточному увлажнению. В условиях низких температур и избыточного увлажнения, формируются хорошо увлажненные и переувлажненные почвы. Агроклиматические ресурсы территории благоприятны для получения высоких урожаев льна-долгунца (в среднем выше по республике). Также успешно возделываются различные сорта картофеля (Скарб, Уладар, Лазурит и др.) [4].

Центральная агроклиматическая область более теплая и менее влажная, чем Северная. В целом на её территории можно успешно развивать производство основных сельскохозяйственных культур, получать высокие урожаи сахарной свеклы и выращивать зрелое зерно кукурузы [4].

Южная агроклиматическая область более теплая и менее влажная, чем Центральная. Она имеет наилучшие агроклиматические условия для возделывания теплолюбивых культур. Агроклиматические условия Южной области позволяют на ее территории более эффективно выращивать озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, гречиху, однолетние и многолетние травы [4].

Новая климатическая зона характеризуется самой теплой и короткой зимой, наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом и неустойчивым увлажнением. Агроклиматические ресурсы Новой зоны хорошо подходят для выращивания подсолнечника, сорговых культур, сои [4].

Продовольственная безопасность – это определенное состояние экономики, при котором государство имеет продовольствие в достаточном количестве, а население располагает возможностью его приобрести. Продовольственная безопасность как элемент национальной безопасности выступает своеобразным индикатором уровня развития общества. Ее достижение является одной из основных целей агропромышленной политики государства. Республика Беларусь в мировом рейтинге продовольственной безопасности заняла в 2015 году 44-е место, а итогам 2020 года – 23 место [5]. Также в Беларуси достигнуты высокие результаты по доступности продовольственных ресурсов. Например, Республика Беларусь представлена в международном рейтинге как страна, имеющая наименьшую долю населения, проживающего за чертой бедности. Также в качестве сильных сторон продовольственной безопасности Беларуси составители рейтинга выделили следующее:

- доступ сельскохозяйственных производителей к источникам финансирования;
- высокая безопасность пищевых продуктов;
- относительно низкий уровень потерь продовольствия;
- устойчивость сельскохозяйственного производства [5].

К проблемам в сфере обеспечения продовольственной безопасности относится низкий валовой внутренний продукт на душу населения и малые государственные расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, связанные с сельским хозяйством. В таблице 1 приведены данные по производству сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь на душу населения за период с 1995 по 2019 гг. [5].

Таблица 1 – Производство сельскохозяйственной продукции на душу населения в Республике Беларусь, кг

Продукция	Год								
	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Зерно	540	487	664	736	912	785	841	649	778
Картофель	932	874	847	825	632	630	675	618	648
Овощи	101	138	208	246	178	199	206	184	197
Плоды и ягоды	38	30	39	84	58	74	50	101	58
Рапс	3	7	15	40	40	27	64	48	61
Свекла сахарная	115	148	317	398	348	450	525	507	523
Скот и птица	64	60	72	102	121	123	127	129	132
Молоко	497	450	587	698	743	751	771	774	785
Яйца, шт.	331	329	321	373	395	380	230	355	373

В Республике Беларусь уровень производства основных видов сельскохозяйственной продукции на душу населения в 2019 г. по ряду позиций превышал показатели, достигнутые в государствах – участниках Евразийского экономического союза, что наглядно показано на рисунке 3. Таки образом, в расчете на душу населения в республике было произведено больше всего молока, картофеля, мяса и яиц [5].

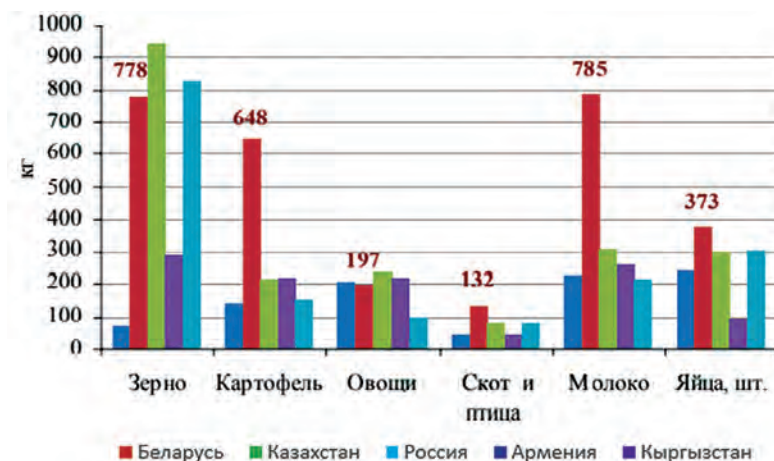


Рисунок 3 – Производство основных видов сельскохозяйственной продукции на душу населения в государствах-членах ЕАЭС в 2019 году

Климатические условия Новой агроклиматической области позволили возделывать культуры, для которых необходимы более высокие температуры произрастания, что привело к появлению видов, ранее не типичных для Республики Беларусь – арбузов, персиков, сладких сортов винограда, абрикосов, а это в свою очередь позволяет обеспечить население большим количеством продуктов и предотвратить нехватку продуктов питания [5].

Основные пути достижения продовольственной безопасности:

- устойчивое развитие внутреннего производства основных видов сельскохозяйственной продукции;
- обеспечение безопасности и высокого качества сельскохозяйственного сырья и продуктов питания;
- доступность для населения безопасных и качественных пищевых продуктов;
- своевременное выявление, оценка, прогнозирование и предупреждение внутренних и внешних угроз продовольственной безопасности [5].

В сельском хозяйстве Беларуси в ближайший период целесообразно сохранить основные направления специализации, сложившиеся в прошлые годы и наиболее полно отвечающие природным и экономическим условиям. По мере укрепления производственного потенциала агропромышленного комплекса и ориентации его на функционирование в рыночных условиях в числе первоочередных все больше будут возникать вопросы структурных преобразований производства и сбыта продукции, создания соответствующей инфраструктуры, сохранения старых и освоения новых продуктовых рынков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Логинов, В. Ф.* Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси / В. Ф. Логинов. – Пинск: 2014. – 19–24 с.
2. *Мельник, В. И.* Оценка позитивных и негативных последствий потепления климата для условий произрастания сельскохозяйственных культур на территории Беларуси / В. И. Мельник. – Минск: 2006. – 17–19 с.
3. *Руднева, О. О.* Болезни растений / О. О. Руднева. – Минск: 2012. – 11–12 с.
4. *Мельник, В. И.* Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси / В. И. Мельник. – Минск: 2013. – 9–15 с.
5. *Гусаков, В. Г.* Состояние и направления укрепления продовольственной безопасности Республики Беларусь / В. Г. Гусаков. – Пинск: 2019. – 45–50 с.

ЦЕНОТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ ИНВАЗИВНОГО ВИДА HERACLEUM SOSNOWSKYI MANDEN. НА ТЕРРИТОРИИ ДЗЕРЖИНСКОГО РАЙОНА CENOTIC FEATURES OF POPULATIONS OF THE INVASIVE SPECIES HERACULUM SOSNOWSKYI MANDEN. ON THE TERRITORY OF DZERZHINSK DISTRICT

И. Д. Климович, Л. А. Худякова
I. D. Klimovich, L. A. Chudyakova

Государственное учреждение образования «Средняя школа №4 г. Дзержинска»,
г. Дзержинск, Республика Беларусь
posket.klimovich@gmail.com

State educational institution «Secondary school № 4 of Dzerzhinsk»,
Dzerzhinsk, Republic of Belarus

Увеличение темпов внедрения инвазивных видов в структуру аборигенной флоры Беларуси вызывает обеспокоенность данным вопросом. Однако, понимания базовых вопросов биологии чужеродных видов мало для борьбы с ними. Авторы исследования считают, что рассмотрение популяционных особенностей инвазивных видов является ключом к борьбе с ними.

Для Дзержинского района показаны благоприятные условия акклиматизации вида *Heracleum sosnowskyi* Manden., что способствует повышению темпов роста его популяций. Установлено, что некоторые виды борьбы с борщевиком приводят к снижению динамики его численности в условиях дзержинской флоры.

The increase in the rate of introduction of invasive species into the structure of the native flora of Belarus raises concerns about this issue. However, understanding the basic biology issues of alien species is not enough to combat them. The authors of the study believe that considering the population characteristics of invasive species is the key to combating them.

Favorable conditions for acclimatization of the *Heracleum sosnowskyi* Manden. species are shown for Dzerzhinsk district, which contributes to an increase in the growth rate of its populations. It has been established that some types of borscht control lead to a decrease in the dynamics of its number in the conditions of Dzerzhinsk flora.

Ключевые слова: борщевик, борщевик Сосновского, акклиматизация, Дзержинский район, популяции, растительные сообщества, динамика, борьба, интродукция, инвазивные виды.

Keywords: hogweed, Sosnowsky's hogweed, acclimatization, Dzerzhinsk district, populations, plant communities, dynamics, struggle, invasive species.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-151-155>

Введение. Деятельность человека, усугубление международной природно-климатической ситуации приводят к коренным изменениям в структуре мировой флоры. Сокращается численность популяций, вымирают виды и целые рода. Вместе с тем увеличивается миграция отдельных таксонов и групп организмов, которая часто носит антропогенный характер.

Перемещение части видов связано с их дальнейшей инвазией в новых местообитаниях и чаще всего такие виды заносятся на новые территории в результате случайного непреднамеренного заноса отдельных их органов и частей (ксенофитические адвентики) [1].

Распространение инвазивных видов признано главной угрозой аборигенным флорам, экосистемам и природным сообществам. Ожидается, что биологические инвазии станут основными двигателями экологической дезинтеграции из-за все увеличивающегося распространения чужеродных видов.

Проблемы сохранения биоразнообразия, эффективного и рационального использования природных растительных ресурсов в настоящее время являются одними из приоритетных в нашей республике и во всем мире. Биоразнообразие Беларуси постоянно сокращается и трансформируется. На это влияют биогенные и антропогенные факторы.

Одним из ярких примеров инвазивных видов на территории европейской части Евразии является борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.), впервые описанный И. П. Манденовой для флоры Кавказа [2]. В настоящее время угроза распространения данного вида наиболее актуальна как для территории Беларуси в целом, так и для Дзержинского района в частности [3].

Морфологически борщевик Сосновского представляет собой растение 2,2–3,1 м высоты, корневая система стержневая, хорошо развитая, но в почву проникает неглубоко: основная масса лежит в слое до 30 см (отдельные корни достигают глубины более 2 м). Диаметр стебля 40–72 мм. Пластика листа широкояйцевидная. На изломе они выделяют светло-жёлтую жидкость с резким запахом, обладающую сильной жгучестью. Зонтики крупные, диаметром до 75 см. Цветки белые [2, 4].

Систематически относится к классу Двудольные (Magnoliopsida), семейству Зонтичные (Umbelliferae), подсемейству Сельдерейный (Apioidea).

Экологически вид представляет собой мезофита-мезотрофа. В естественных условиях предпочитает бореально-монтанные условия среды (горные леса и субальпийские луга). В условиях инвазии показано распространение по опушкам лесов, берегам озёр и рек, пустырям, полям.

Инвазионный характер распространения борщевика приобрел не так давно, поэтому является неофитом [5].

Министерство природы Республики Беларусь по состоянию на 2018 г. отмечает, что на территории нашей страны площадь популяций борщевика Сосновского составляет 2924 га. Карта распространения популяций борщевика на территории Беларуси представлена ниже (рис. 1).

Основными методами борьбы с данным инвазивным видом является уничтожения молодых растений, не достигших периода цветения и образования семян (причем важно уничтожать особей с удалением корневой системы растения) и применение гербицидов (однако данный метод имеет некоторые негативные свойства, такие как загрязнение окружающей среды, и почвы в частности).

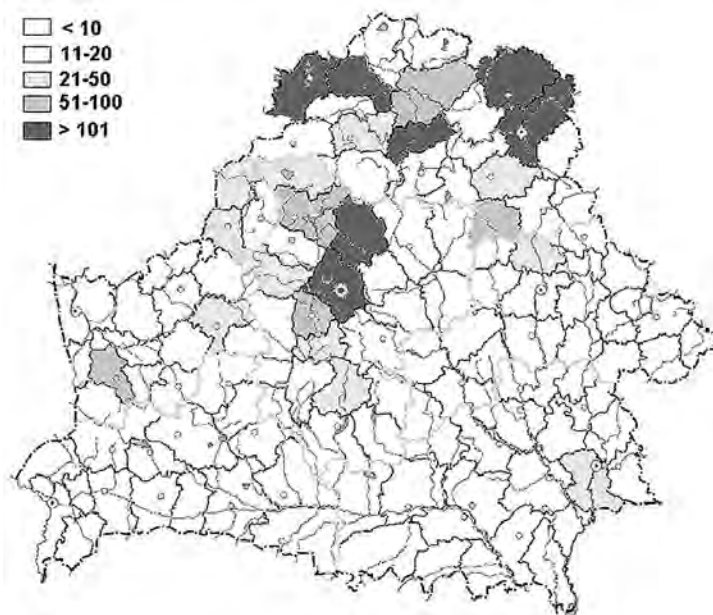


Рисунок 1 – Карта распространения борщевика Сосновского на территории Республики Беларусь

Методика исследования. В статье приведены результаты трехлетних (2019-2021 г.) полевых геоботанических и экологических исследований. В рамках исследований проводилась оценка степени инвазии и акклиматизации борщевика во флору района, темпы его динамики популяционно-видовых характеристик, площади зарастания, эффективности предпринимаемых мер по борьбе с ним, степень вытеснения аборигенных видов. Полевые работы и исследования проводились типичными стационарным и рекогносцировочным методами. При проведении работ и обработке информации учитывались аспекты системы оценки обилия видов Друде и теории тектонической динамики горных биотопов Агаханянца [6].

Основной единицей при проведении географического анализа являлся географический (хорологический) элемент флоры – группа видов со сходными ареалами. Часто группы видов со сходными ареалами имеют сходное происхождение и механизм проникновения на территорию изучаемой флоры. Проведение географического анализа позволяет понять историю формирования флоры, ее современное состояние и связи с другими флорами. Изучение географической структуры флоры производилось на основе классификации А. С. Лазаренко, построенной на зональном (широтном) принципе с учетом регионального (меридиального) распространения, при котором географический элемент понимается как этап развития флоры, приуроченный к определенным условиям среды и типам экосистем.

В связи с тем, что борщевик Сосновского является достаточно молодым видом в отношении инвазии, то важно рассмотреть возникновение всех ценологических, геоботанических, экологических и географических особенностей популяций в контексте приспособительного и историко-географического процесса.

Результаты и их обсуждение. В ходе изучения популяций борщевика Сосновского на территории Дзержинского района выявлено 92 точки его местонахождений общей площадью 25,4 га.

На исследуемой территории борщевик Сосновского распространен крайне неравномерно. Наибольшая концентрация особей наблюдается в северо-западной части района, в окрестностях деревень Волма, Волмечка и Меньки. Борщевик здесь образует сплошные полосы вдоль дорог, а в районе деревни Волмечка популяции проникли в лесные массивы. Анализ площади территории позволяет утверждать, что на сегодняшний день это одна из крупнейших популяций борщевика в центральной части страны.

Распространение популяций борщевика Сосновского в других частях Дзержинского района не носит столь массового характера. Отмечены они на северо-востоке, а также довольно большая популяция растения зафиксирована на западной окраине города Дзержинска между железной дорогой Брест – Минск и улицей Минской.

На территории Дзержинского района борщевик Сосновского формирует несколько типов сообществ, различающиеся границами ареалов. Так, наименьшая площадь распространения наблюдается у одиночно произрастающих растений (700 м²). В сравнение – особи, собирающиеся в отдельно взятые небольшие группы, формируют область ареала в 110424 м² (что составляет примерно в 150 раз больше, нежели одиночные особи). Также, наблюдаются широко тянущиеся вдоль экосистем собрания особей, образующие массив площадью в 102203 м², однако не заходящий за границу лесных сообществ. Группы растений, проникающие в лесной массив, образуют достаточно большой ареал (общая площадь - 40820 м²), который вытесняет аборигенные виды.

По количеству местонахождений единичные популяции борщевика более чем в два раза превосходят популяции, проникшие в лесной массив, а в структуре занимаемых площадей являются меньшими в 8 раз. В свою очередь, популяции образующие группы в структуре занимаемых площадей незначительно превосходят сплошные полосы вдоль дорог.

В 2020–2021 гг. проводились исследования динамики популяций борщевика Сосновского и продуктивности принимаемых мер на территории Дзержинского района. Причем исследования в 2021 г. проводились дважды.

Исследования показали, площади борщевика увеличились с 25.4 га в 2020 г., 25.6 га – весной 2021 г. до 27.8 га осенью 2021 г.

Более ранние исследования дзержинских популяций борщевиков оказались менее подробными, однако можно сказать, что за последние 10 лет площадь ареала обитания борщевика Сосновского в Дзержинском районе увеличилась, но в меньших темпах, что указывает на некоторую продуктивность борьбы с ним.

Мероприятия на территории района проводятся минимальные. Уничтоженных популяций крайне мало и наблюдается слабая отрицательная динамика. Наиболее крупные популяции в окрестностях деревень Антоновщина и Волма подвергаются малейшими изменениям, чаще всего носящим естественно-сукцессионный характер.

Максимальная скорость распространения борщевика (8–10 м за вегетационный период) отмечена на пойменных и внепойменных лугах, в зарослях кустарников (6–8 м за вегетационный период). В экосистемах динамика распространения борщевика крайне незначительно и составляет в среднем 1–3 м за вегетационный период.

Дзержинский район по количеству мест произрастания борщевика (92) относится к 3 группе районов со значительной численностью местонахождений борщевика.

Интересно отметить, что семенная продуктивность особей борщевика на территории распространения в районе не имеет четкой корреляции. Исходя из представленных данных (таблица 1) видно, что прямой зависимости основных показателей семенной продуктивности нет. Можно отметить, что с возрастанием численности популяции возрастает среднее образование семян в пересчете на одну особь, однако данная корреляция отвергается по неравномерности статистических показателей всхожести семян. Выживаемость семян (которая была оценена по динамике популяций в последующих годах) также не проявляет прямой корреляции, но в то же время можно отметить, что наибольший процент данного показателя (как и других показателей) отмечен у растений, собирающихся в большие группы и проникающие в лесной массив. С большим недоверием, но можно судить, что большие ассоциации растений борщевика с экспансией в лесные экосистемы являются оптимальными для повышенной продуктивности этого растения.

Таблица 1 – Показатели семенной продуктивности растений борщевика различных ценоотических группировок в условиях Дзержинского района (2019–2021 гг.)

	Образование семян, семян на особь	Всхожесть семян, %	Примерная выживаемость семян (на основе динамики популяций в последующих годах), %
Одиночно произрастающие растения	1046	49	20
Растения, собирающиеся в отдельные небольшие группы	1249	50	23
Растения, собирающиеся в большие группы (не заходящие в лесной массив)	1277	32	19
Растения, собирающиеся в большие группы (заходящие в лесной массив)	1302	56	39

Заключение. На территории Дзержинского района выявлено 92 места произрастания Борщевика Сосновского общей площадью 27.8 гектара. Выявлена одна из крупнейших популяций Борщевика Сосновского на территории центральной Беларуси (в районе деревень Волмечка и Василевщина).

Наибольшее преобладание вида показано в северо-западной части района. Также началась экспансия в лес с вытеснением аборигенных видов растений.

Семенная продуктивность групп особей борщевика на территории Дзержинского района не имеет прямой корреляции от условий среды, однако показано, что образование семян увеличивается с увеличением численности популяций.

Максимальная скорость распространения борщевика (8–10 м за вегетационный период) отмечена на пойменных и внепойменных лугах, в зарослях кустарников (6–8 м за вегетационный период). В лесных экосистемах динамика распространения борщевика крайне незначительно и составляет в среднем 1–3 м за вегетационный период.

На территории района проводят мероприятия по борьбе с борщевиком Сосновского, которые приносят, однако, минимальное сокращение численности популяций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lohmeyer W., Sukopp H. Agriophytes in the vegetation of Central Europe. First addendum. 2001 (Braunschweiger Geobotanische Arbeit 8), pp. 179–220.
2. Манденова И. П. Кавказские виды рода *Heracleum* / Акад. наук Груз. ССР. Тбилис. ботан. ин-т. – Тбилиси: Изд-во АН Груз. ССР, 1950. – [3], 104 с. – (Монографии. Серия А. Систематика и география растений).
3. Кудинов М. А., Касач А. Е., Чекалинская И. И., Черник В. В., Чурилов А. К. Интродукция борщевиков в Белоруссии. Мн, Наука и техника, 1980, 200 с.
4. Манденова И. П. Род 1069. Борщевик – *Heracleum* L. // Флора СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – Т. 17. – С. 223–259.

5. Афонин А. Н., Лунева Н. Н., Ли Ю. С., Коцарева Н. В. Эколого-географический анализ распространения и встречаемости борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в связи со степенью аридности территорий и его картирование для европейской территории России // Экология. 2017. № 1. С. 66–69.
6. Дмитриева, С. А. Кариология флоры как основа цитогенетического мониторинга: (на примере Березинского биосферного заповедника) / С. А. Дмитриева, В. И. Парфенов. Мн: Навука і тэхніка, 1991. 23.

АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА ОКСИДОМ УГЛЕРОДА И ОКСИДАМИ АЗОТА В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

ANTHROPOGENIC AIR POLLUTION WITH CARBON OXIDE AND NITROGEN OXIDES IN THE CITIES OF BELARUS

А. М. Людчик¹, Е. А. Мельник², П. Н. Павленко³

A. M. Liudchik, E. A. Melnik, P. N. Paulenka

¹Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы
Белорусского государственного университета,
г. Минск, Республика Беларусь
liudchikam@tut.by

²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного
загрязнения и мониторингу окружающей среды, г. Минск, Республика Беларусь
kbb@rad.org.by

³Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pavlenko_pn@mail.ru

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination
and Environmental Monitoring, Minsk, Republic of Belarus
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Представлены данные о сезонном ходе концентраций в приземном воздухе оксида углерода, оксида и диоксида азота, а также вторичного загрязнителя – озона – в областных городах Беларуси и Березинском биосферном заповеднике в разные годы. Концентрации антропогенных загрязнителей обычно минимальны в летний период и максимальны зимой, в то время как концентрация приземного озона максимальна в весенне-летний период и минимальна в зимний.

Data on the seasonal course of concentrations in the surface air of carbon monoxide, nitrogen oxide and dioxide are presented, as well as a secondary pollutant – ozone in the regional cities of Belarus and the Berezinsky Biosphere Reserve in different years. Concentrations of anthropogenic pollutants are usually the lowest in summer and maximum in winter, while the ground-level ozone concentration is maximum in the spring-summer period and minimum in winter.

Ключевые слова: антропогенные загрязнители воздуха, приземный озон, сезонный ход.

Keywords: anthropogenic air pollutants, ground-level ozone, seasonal variation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-155-158>

Представлен обзор данных наблюдений за концентрацией в приземном воздухе оксида углерода, оксида и диоксида азота, а также вторичного загрязнителя – озона на пунктах Национальной системы мониторинга окружающей среды в областных городах и Березинском биосферном заповеднике. Следует заметить, что данные получены в результате обработки наблюдений, включающих одновременную регистрацию концентраций оксида углерода, оксидов азота, бензола, толуола, ксилола и приземного озона, то есть практически всех регистрируемых на пунктах мониторинга загрязнений, оказывающих влияние на приземный озон. Отказ от этого условия позволяет представить больше результатов, однако конечной целью проводимого исследования является анализ влияния антропогенных загрязнений воздуха на концентрацию приземного озона. Для этого названное условие обязательно.

Графики среднемесячных концентраций загрязнений в разные годы приведены на рис. 1–7. В большинстве случаев антропогенные загрязнения демонстрируют подобный сезонный ход из года в год: концентрации постепенно снижаются при переходе от зимы к лету, достигают минимума в летний период, а затем начинают увеличиваться по мере приближения к зиме. Возможными причинами такого поведения могут быть интенсификация источников

выбросов загрязнений и усиление ветра, выдувающего загрязнения из городов в отдельные сезоны, а также препятствующее рассеянию загрязнений торможение вертикального перемешивания в приземной атмосфере в зимний сезон. Последняя причина представляется более существенной, поскольку даже не имеющие общих источников антропогенные загрязнения характеризуются похожим сезонным ходом среднемесячных концентраций.

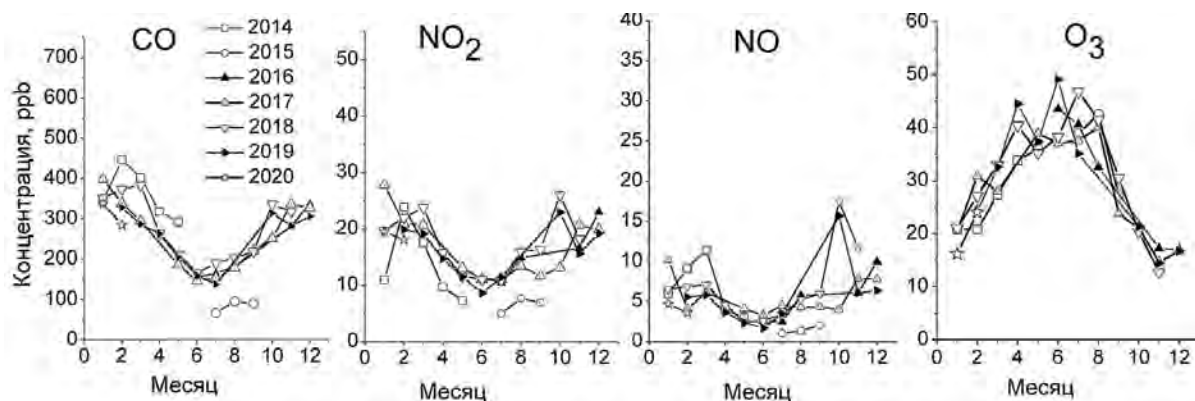


Рисунок 1 – Брест. Годовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей атмосферы в разные годы

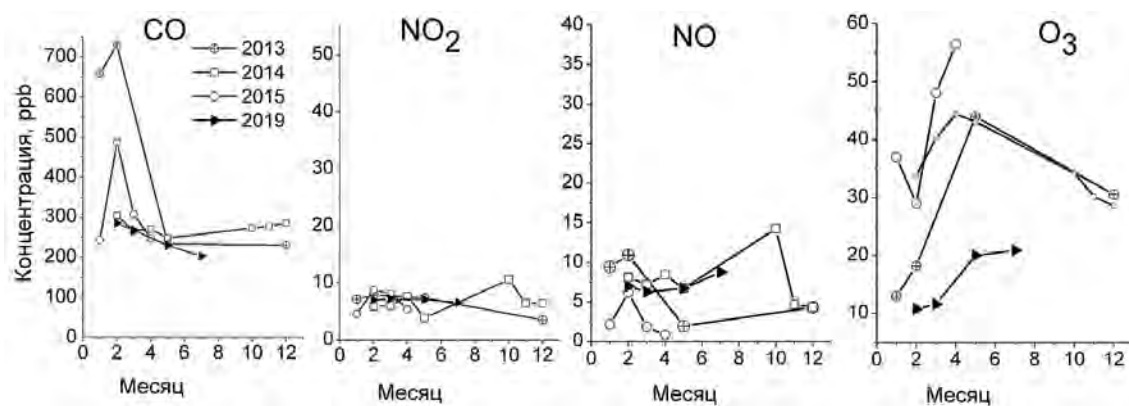


Рисунок 2 – Витебск. Годовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей атмосферы в разные годы

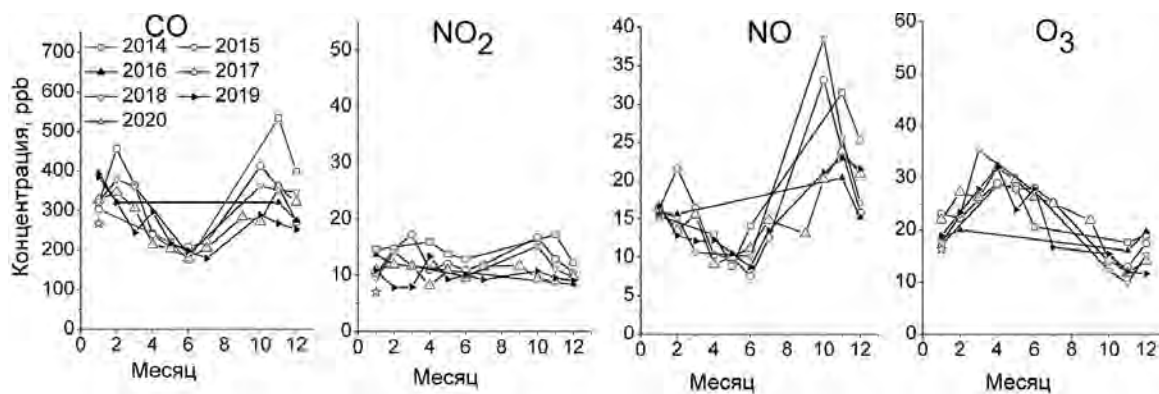


Рисунок 3 – Гомель. Годовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей атмосферы в разные годы

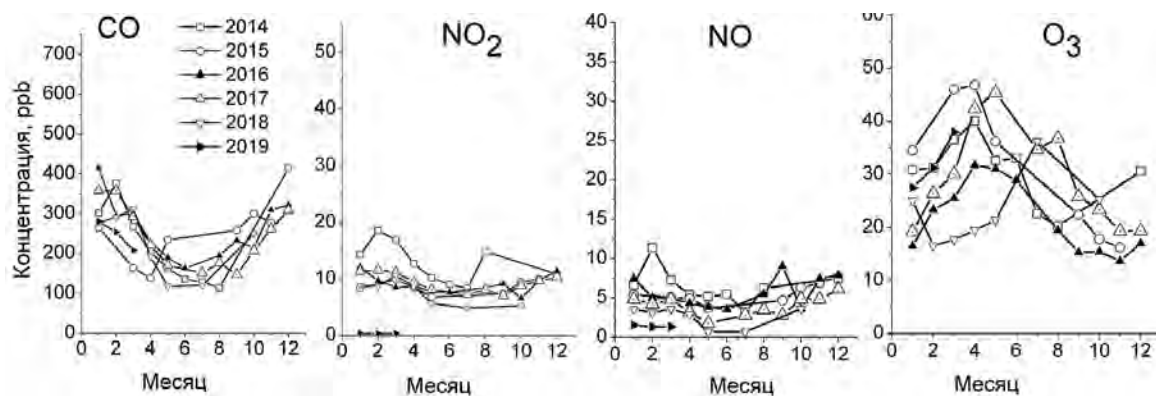


Рисунок 4 – Гродно. Годовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей атмосферы в разные годы

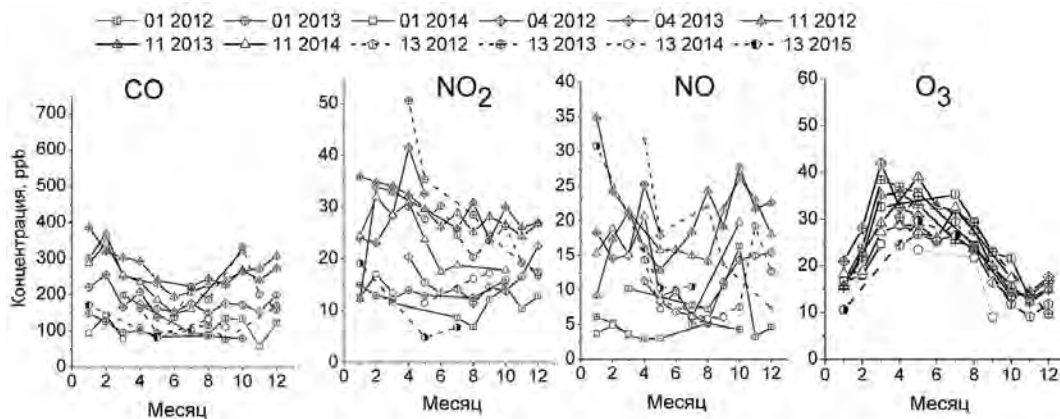


Рисунок 5 – Минск. Годовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей атмосферы в разные годы. В городе имеется несколько пунктов наблюдений, расположенных в разных районах. Их номера указаны в обозначениях линий

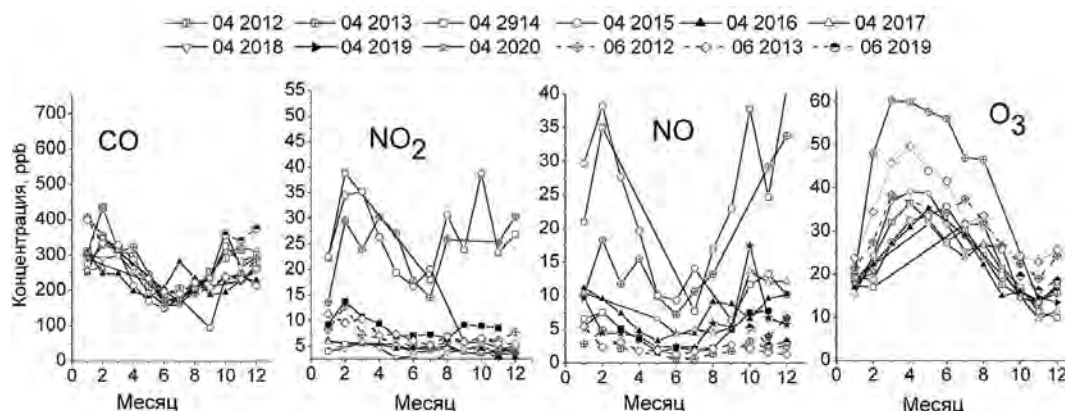


Рисунок 6 – Могилев. Годовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей атмосферы в разные годы. В городе имеется два пункта наблюдений, расположенных в районах, различающихся степенью загрязнения воздуха. Их номера указаны в обозначениях линий

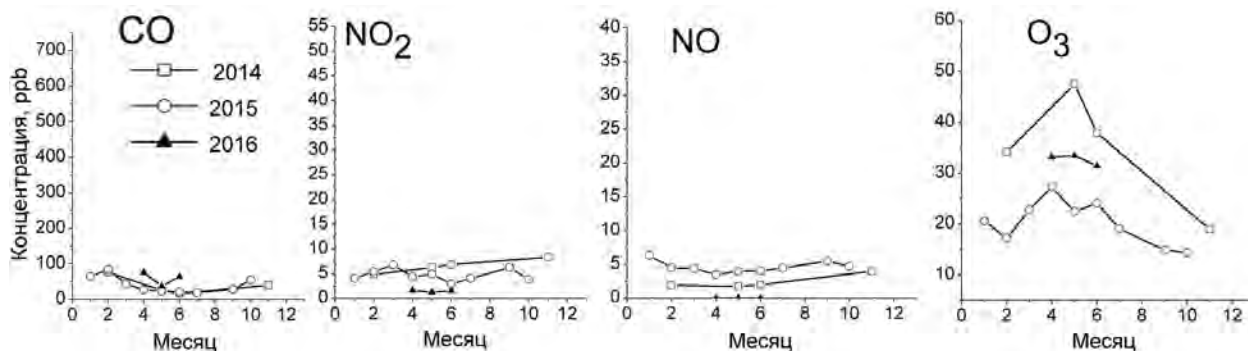


Рисунок 7 – Гродно. Годовой ход среднемесячных концентраций загрязнителей атмосферы в разные годы

Среднемесячные концентрации приземного озона имеют противоположный сезонный ход: они минимальны в зимний сезон и максимальны в весенне-летний. Этому также есть простое объяснение, связанное с погодой. Зимой интенсивность солнечного излучения у поверхности земли мала, следовательно, низка эффективность фотохимических реакций, приводящих к генерации озона. Также существенно снижается эффективность вертикального перемешивания атмосферы, способствующая переносу богатого озоном воздуха из верхних слоев тропосферы к поверхности земли.

Оксид углерода имеет выраженный сезонный ход: среднемесячные концентрации понижаются от зимы к лету, а потом опять увеличиваются к зиме. Среднемесячные концентрации оксида и диоксида азота в основном подвержены аналогичному сезонному ходу, наиболее слабо выраженному в Березинском биосферном заповеднике (рис. 7), возможно, вследствие очень низких фиксируемых концентраций. Среднемесячные концентрации оксида углерода минимальны в Заповеднике и слабо различаются в областных городах. Возможной причиной заметного превышения в начале 2013 г. в Витебске (рис. 2) может быть плохое качество измерений, на что указывает

высокая дисперсия результатов наблюдений. Однако, это только предположение, обосновать которое в настоящее время затруднительно. Самый загрязненный диоксидом азота город – Минск, где среднемесячные концентрации меняются в пределах 10–35 ppb. В 2013–2015 гг. такие же высокие концентрации фиксировались и в Могилеве на пункте 04, однако в последующие годы они резко снизились до уровня 1–12 ppb и практически совпадают с результатами наблюдений на другом городском пункте 06. Второй по загрязненности диоксидом азота город – Брест (10–25 ppb). В Гомеле и Гродно среднемесячные значения колеблются в пределах 5–15 ppb. А самый чистый по диоксиду азота город – Витебск (3–10 ppb).

Самые высокие среднемесячные концентрации оксида азота (10–35 ppb) зарегистрированы в 2013–2015 гг. для Могилева на пункте 04. Как и в случае с диоксидом азота, в последующие годы концентрации понизились до уровня 1–10 ppb и практически совпадают с результатами наблюдений на пункте 06.

Ранее указывалось на довольно высокие концентрации оксида углерода в г. Витебск в первые месяцы 2013 г. При этом зафиксирована высокая дисперсия среднесуточных значений в отдельные месяцы. Так, в первые 2 месяца года месячное среднеквадратичное отклонение составляло 300–400 ppb, в то время как в мае оно снизилось до 100. Одновременно существенно понизились и значения измеренных концентраций.

Резкое снижение дисперсии данных наблюдений в мае, похоже, связано с заметным уменьшением среднесуточных значений. Действительно, поскольку все результаты измерений положительны, снижение среднесуточного значения ограничивает величину суточной дисперсии. Иными словами, оба параметра связаны: уменьшение первого ограничивает возможную величину второго, но не наоборот. Однозначной зависимости между ними не существует: все зависит от характера поведения измеряемой величины. В частности, если измеряемая величина меняется скачками между нулем и значением a , среднее равно $a/2$, а среднеквадратичное отклонение тоже равно $a/2$. Но вполне возможно то же значение среднего при, к примеру, нулевой дисперсии.

Как отмечалось ранее, концентрация приземного озона в городах зависит от наличия загрязнений воздуха – прекурсоров озона, их концентраций и интенсивности солнечного излучения, инициирующего процессы генерации и разрушения озона, а также эффективности вертикального перемешивания атмосферы и скорости ветра. В настоящее время уровень загрязнения городского воздуха в Беларуси не высок, поэтому преобладают процессы разрушения озона. Именно поэтому в менее загрязненном воздухе сельской местности (например, в Березинском заповеднике) концентрация приземного озона обычно выше, чем в городах.

МРАМОРНЫЙ РАК *PROCAMBARUS FALLAX* КАК ИНВАЗИВНЫЙ ВИД В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ THE MARBLE CRAYFISH *PROCAMBARUS FALLAX* AS INVASIVE SPECIES IN THE WATER BODIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Н. В. Сакун^{1,2}, О. А. Бодиловская^{1,2}

N. Sakun^{1,2}, O. Bodilovskaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

olga.bodilovskaya@iseu.by, natali.alekseychik@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU Minsk, Republic of Belarus

В статье представлено описание видового разнообразия речных раков, встречаемых на территории Республики Беларусь, и непосредственно описание инвазивного вида – мраморного рака *Procambarus Fallax* и способа его размножения. В настоящее время данный вид встречается во многих странах Европы, но существует серьезная вероятность его распространения и на территории Республики Беларусь. Многие виды ракообразных, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь, могут оказаться в опасности в случае инвазии мраморного рака в водоёмах Беларуси.

The article describes crayfish species diversity in the territory of the Republic of Belarus, in particular invasive species – the marble crayfish (*PROCAMBARUS FALLAX*) and the method of its reproduction. Currently, this species is found in many European countries, but there is a serious probability of its spread in the territory of the Republic of Belarus. Many crayfish species listed in the Red Book of the Republic of Belarus may be endangered in case of an invasion of marble crayfish in the water bodies of Belarus.

Ключевые слова: мраморный рак, размножение, инвазивный вид, партеногенез.

Keywords: marble crayfish, reproduction, invasive species, parthenogenesis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-158-161>

В конце 20 – начале 21 веков инвазивные присоединения в экосистемах стали одной из важнейших частей эволюции биосферы. Одним из следствия явления инвазивности является десепарация биоты – разрушение границ биогеографических ареалов, что, в свою очередь, влечёт за собой изменение структуры природных экосистем и биоразнообразия отдельных регионов [1].

Воздействие инвазивных видов на биосферу регионов очень велико. Такие животные вступают в контакт с аборигенной фауной, что приводит к необратимым изменениям в их дальнейшем распространении. Последствия расселения таких видов определяются как «биологическое загрязнение».[5]

Не меньший вред инвазивные виды наносят и человеку. Такие организмы нарушают экономическую и хозяйственную деятельность. Именно инвазивные виды оказывают очень сильное влияние на биоразнообразие окружающей среды, а также могут существенно снизить прибыль предприятий, связанных с экологией и сельским хозяйством.

Речные раки (отряд *Decapoda*, надсемейство *Astacoidea*) – важнейшие ресурсно-коммерческие виды пресноводных беспозвоночных Европы. В современной водной фауне Беларуси имеется лишь один аборигенный вид десятиногих раков – широкопалый рак *Astacus astacus*. В начале XX в. сюда из водоемов Азово-Черноморского бассейна проник длиннопалый рак *A. leptodactylus*. В начале 1980-х гг. в водоем-охладитель Березовской ГРЭС была вселена дальневосточная пресноводная креветка *Macrobrachium nipponense*, сформировавшая здесь устойчивую популяцию. В 1997 г. в приграничных с Литвой и Польшей районах Гродненской обл. впервые обнаружен полосатый рак *Orconectes limosus* – инвазивный в Европе вид североамериканского происхождения [1].

В силу ряда причин, таких как интенсивный промысел, разрушение и загрязнение мест обитания, эпизоотии инфекционных заболеваний природные запасы обоих видов речных раков в Беларуси во второй половине XX ст. оказались резко подорванными.

К концу XX ст. в результате принятия ряда природоохранных мер природные запасы *A. leptodactylus* в Беларуси в определенной степени были восстановлены, что позволило даже начать его ограниченный промысел. В настоящее время *A. leptodactylus* в Беларуси встречается практически повсеместно. Напротив, численность *A. astacus* в Беларуси продолжает снижаться, а его ареал – сокращаться. Уже безвозвратно потеряны популяции этого вида в водоемах бассейна реки Припять. В критическом состоянии находится единственная популяция широкопалого рака бассейна р. Западный Буг вблизи Беловежской пуши. Серьезные опасения вызывают популяции бассейна Немана. Сейчас ареал *A. astacus* в Беларуси сократился фактически до региона Белорусского Поозерья и некоторых участков бассейна Днепра. При этом относительное благополучие отмечается лишь для немногих популяций в бассейнах правых притоков Западной Двины и отчасти в малых реках бассейна Днепра. Сейчас *A. astacus* в Беларуси остается уязвимым видом. Важной причиной снижения численности этого вида в Беларуси является его постепенное вытеснение длиннопалым раком, обусловленное большей устойчивостью последнего к загрязнению водоемов, повышенным летним температурам и дефициту кислорода, а также повышенными плодовитостью, скоростями роста и полового созревания.

Одним из серьезных факторов риска для популяций *A. astacus* и *A. leptodactylus* является проникновение в Беларусь инвазивных видов речных раков, являющихся их потенциальными конкурентами в экосистемах природных водоемов, так в 1997 г. в приграничных с Литвой и Польшей районах Гродненской обл. (участок р. Неман с притоками) был впервые обнаружен полосатый рак *Orconectes limosus* – инвазивный в Европе вид североамериканского происхождения. Затем началась его активная экспансия и колонизация новых мест обитания в Беларуси. Это привело к существенному снижению численности местных популяций *A. leptodactylus*, хотя последний в сравнении с *A. astacus* показал более высокий конкурентный потенциал.

В Беларуси обитает еще один вид *Decapoda* – субтропическая восточная речная креветка *Macrobrachium nipponense* (семейство *Palaemonidae*), акклиматизированная в 1980-х гг. в водоеме-охладителе Березовской ГРЭС. Оттуда в последние годы она была вселена в водоем-охладитель Лукомльской ГРЭС. В обоих водоемах с обедненным видовым составом биоты, вследствие высоких летних температур (до 33–35 °C), креветка сформировала устойчивые и высокопродуктивные популяции. Этому виду принадлежит важная роль в процессах биотического круговорота в экосистемах водоемов-охладителей, он стал там объектом любительского лова.

Возможности экспансии *M. nipponense* в умеренной климатической зоне весьма ограничены, поскольку этот вид размножается при температурах свыше 25°C. Однако не исключено проникновение в водоемы-охладители Беларуси теплолюбивых видов инвазивных речных раков, что может поставить под угрозу существование там популяций *M. nipponense*.

В последнее десятилетие в ряде стран Европы (Швеция, Нидерланды, Венгрия, Италия, Украина и др.) обнаружен еще один североамериканский вид – мраморный рак *Procambarus fallax*, единственный партеногенетический вид в надсемействе *Astacoidea*. Он является популярным аквариумным видом и потому в природные водоемы проникает, преимущественно, из любительских аквариумов. Отсюда появление *P. fallax* в Беларуси как в результате его заноса, так и посредством миграций из сопредельных стран представляется весьма вероятным.

При этом *P. fallax*, в сравнении с другими *Astacoidea* отличается повышенным инвазивным потенциалом, поскольку у него потомство способны производить все половозрелые особи, а не только самки, как у двуполох

видов. *P. fallax* также является переносчиком рачьей чумы, что может стать дополнительным фактором риска для местных видов речных раков, в первую очередь, – для наиболее уязвимого *A. astacus* [1].

Так как огромное значение в расселении инвазивных видов имеет человеческий фактор, появление мраморного рака *Procambarus Fallax* в природе непосредственно связано с деятельностью человека и использованием его как аквариумного вида.

В настоящее время данный вид встречается во многих странах Европы, но существует серьёзная вероятность его распространения и на территории Беларуси. На данный момент ближайшим к Беларуси местом обитания мраморного рака является украинский город Днепр и бассейн одноименной реки. По течению этой реки мраморный рак может с легкостью оказаться в белорусской части водоёма.

Первоначальным местом обитания этих животных является Северная Америка. Их основное местонахождение – бассейн реки Сатила в штатах Джорджия и Флорида Соединённых Штатов Америки [2]. В середине 1990-х мраморные раки стали встречаться в продаже в магазинах Германии из-за яркого цвета и простоты ухода. Некоторые особи были выявлены в Японии и на острове Мадагаскар, что может свидетельствовать о достаточно высокой устойчивости данного вида к разным климатам и температурным режимам.

Название эти животные получили из-за своей характерной окраски. Мраморный рак имеет типичное для Десятиногих ракообразных строение тела. Массивная головогрудь покрыта плотным панцирем – карапаксом. К этому отделу крепятся ходильные ноги, первая пара из которых несет клешни. Также здесь располагаются челюсти и органы чувств (глаза и антенны). Брюшко подвижное, состоит из нескольких сегментов, под которыми располагаются плавательные ножки – плеоподы. На конце брюшка имеется широкий хвостовой плавник.

Главным отличием мраморного рака от других ракообразных является способность к партеногенезу – развитию яйцеклеток во взрослом организме без оплодотворения. Размножение осуществляется неоплодотворёнными яйцеклетками, из которых выходят полностью генетически идентичные особи. Популяция состоит из особей женского пола, самцы отсутствуют полностью [3]. Половая зрелость наступает в возрасте около полугода. За один раз самка может принести от 20 до 300 икринок. Икру самки носят на своих плеоподах. Их постоянное движение обеспечивает вентиляцию и приток свежей воды к икринкам. Инкубация икры длится около месяца, практически всё это время рак проводит в убежище. После на свет появляются уменьшенные копии родителей, которые способны к самостоятельному питанию.

Средняя масса новорождённых личинок мраморного рака почти одинаковая – в среднем 7,45 мг. Однако, несмотря на низкий уровень генотипической изменчивости, характерный для потомства партеногенетических особей, молодь этого вида сильно изменчива по скорости роста. Быстрорастущие особи – лидеры, составляющие более 10–12 % всего поколения, способны в благоприятных условиях быстро достигать половой зрелости и давать потомство [4].

Длина тела взрослых особей колеблется от 5 до 12 см, а вес от 15 до 30 г. Окрас панциря бежевый с тёмно-коричневым мраморным узором. В воде с повышенной кислотностью окрас нередко становится голубоватым. Характерной особенностью мраморного рака является сплюснутый тельсон и сравнительно небольшие клешни. Продолжительность жизни около двух лет. Хотя данный вид и является всеядным, предпочтение отдаётся пище растительного происхождения.



Рисунок 1 – Внешний вид особи мраморного рака (*Procambarus fallax forma viginalis*)

Потенциальная опасность этого вида в том, что мраморный рак чрезвычайно устойчив к климатическим изменениям, нетребователен к пище и может длительное время обходиться без неё. Он хорошо размножается и быстро вытесняет своих дальних родственников. Кроме того, мраморный рак является переносчиком рачьей чумы.

Многие виды ракообразных, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь, могут оказаться в опасности в случае инвазии мраморного рака на территории Беларуси. Поэтому необходимо выяснить, насколько сильно мраморный рак может прижиться в нашем климате.

На протяжении 2019–2021 годов в лабораторных условиях проводились наблюдения за поведением мраморного рака, его способностью к размножению и выживаемости в условия, близких к условиям белорусского климата летом и зимой. На протяжении всего эксперимента использовалось специальное оборудование для получения правильных и более точных результатов. В лаборатории неоднократно проводились опыты по выживанию мраморного рака непосредственно в летний и зимний период.

В случае с летним климатом мы использовали термостат. Для эксперимента была выбрана температура 35 градусов Цельсия. Контроль температуры осуществлялся с помощью обычного ртутного термометра. Для данного эксперимента было отобрано 10 особей и помещено в отдельные стеклянные ёмкости. Ёмкости погружались в термостат, который нагревали до нужной температуры. Далее проводилось круглосуточное наблюдение за количеством особей, которые не переносили такую температуру, и, в конечном итоге, погибали. Непрерывное наблюдение за ракообразными велось в течение двух дней, пока в живых не осталась только одна особь.

Для имитации зимних условий использовался холодильник. Для этого опыта было отобрано и помещено в отдельные сосуды 10 особей мраморного рака. После этого их помещали в холодильник, температура которого примерно имитировала зимние условия белорусского климата. В результате в течение недели все 10 особей погибли. Таким образом, можно предположить, что мраморному раку будет крайне тяжело пережить зиму в белорусских водоёмах.

По данным, полученным после эксперимента и тщательному наблюдению за поведением мраморного рака в лаборатории, можно с большой долей вероятности сказать, что, несмотря на крайне агрессивный уровень инвазивности, мраморный рак не способен нормально выживать в водоёмах Беларуси. Всё дело в том, что средняя температура в Беларуси зимой чрезвычайно низкая, а средняя температура летом чрезвычайно высока для нормального развития молоди, а также для выживания особей в целом.

Однако совершенно ясно и очевидно, что агрессивность популяции этого вида чрезвычайно высока, поэтому, несмотря на вышеуказанный факт, нельзя забывать об охране белорусских водоёмов и аборигенной фауны, а также видов, занесённых в Красную книгу Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов, А. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / А.Ф. Алимов, Н.Г. Богущая – М. : Спб, 2004. – 437 с.
2. Taylor, C. A. Conservation status of crayfishes of the United States and Canada / C.A. Taylor et al. // Fisheries. – 2010. – Vol. 21. – P. 25–38.
3. Martin, P. The enigmatic Marmorkrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) / P. Martin et al. // Contributions to Zoology. – 2016. – Vol. 79, № 3. – P. 107–118.
4. Голубев А. Партеогенетический мраморный рак *Procambarus fallax* (Hagen, 1890) (Decapoda, Cambaridae) – потенциальный инвазивный вид в водоёмах Беларуси / А.П. Голубев и др. // Сахаровские чтения 2017 года – ч. 2. – С. 20–21.
5. Хляп, Л. Биологические инвазии на территории России: млекопитающие / Хляп Л.А. [и др.]. // Российский журнал биологических инвазий – 2008. – № 2 – С. 78–95.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ КАК НОВОГО ПРИЕМА В ОЗДОРОВЛЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УЧАЩИХСЯ

USAGE OF VERTICAL GARDENING IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS AS A NEW METHOD OF THE ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT FOR STUDENTS

А. Г. Чернецкая^{1,2}, Н. П. Стригельская^{1,2}, Е. В. Алексейчик^{1,2}, Т. В. Скрунда^{1,2}
A. Chernetskaya^{1,2}, N. Strigelskaya^{1,2}, E. Alexeichik^{1,2}, T. Skrunda^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

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

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

В статье представлена актуальность использования вертикального озеленения в учреждениях образования т. к. эффективность педагогического процесса во многом зависит от созданной среды, которая

рассматривается как один из факторов развития личности ребенка. Значимый компонент развивающей среды – это благоустроенная, грамотно оформленная территории учреждения, которая носит не только эстетический аспект экологического воспитания учащихся, а обеспечивает им возможность развиваться. Таким образом, благоустройство решает задачи эстетического, умственного, нравственного и физического воспитания детей через знакомство с окружающим растительным миром.

The article shows the relevance of vertical gardening usage in educational institutions as the effectiveness of pedagogical processes mainly depends on the created environment which is considered as one of development factors of a child's personality. Significant component of a developing environment is a well-maintained and well-designed area of an institution which has both aesthetic aspects of environmental education and the opportunity for students to develop. Thus, landscaping solves the tasks of aesthetic, intelligent, moral and physical education of children through acquaintance with surrounding flora.

Ключевые слова: вертикальное озеленение, экологическое образование, фитостена, фитодизайн.

Keywords: vertical gardening, environmental education, phytowall, phytodesign.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-161-165>

Поскольку промышленные и транспортные объекты сосредоточены в городах, существует большое техногенное давление на людей и экосистемы. Учитывая, что более 72 % населения Беларуси проживает в городах и поселках городского типа, организация экологически безопасной и социально сбалансированной структуры ландшафтно-рекреационного комплекса, эффективное выполнение функций санитарии и санитарии, рекреации, защиты почвы, воды, защиты от шума и охраны окружающей среды является одной из основных задач устойчивого природопользования и градостроительства [3].

Окружающая жилище городская среда должна быть кардинальным образом оздоровлена и улучшена за счет повышения уровня благоустройства города и его озеленения. Одной из важных задач ландшафтного дизайна становится поиск решений по применению разнообразных приемов включения компонентов природы в структуру архитектурных объектов в качестве средства их интегрирования в окружение и в качестве средства поддержания среды. В таком случае элементы искусственного ландшафта, объединенные с архитектурой, становятся важным средством достижения положительного воздействия визуальной среды на человека.

Важную роль в благоустройстве современного города играет вертикальное озеленение, использующее большой арсенал растений и малую площадь, которая обычно не используется в других целях. Это и травы, и кустарники, однако, главная роль принадлежит лианам.

Вертикальное озеленение, обогащая и дополняя архитектурный облик зданий и их комплексов, делает его более выразительным. Быстрота роста, многообразие форм и окрасок цветов, листьев, плодов и способностей вьющихся растений легко поддаваться формированию открывает неограниченные возможности для использования их в благоустройстве. Широко используются вьющиеся растения для озеленения оград, подпорных стенок, откосов, различных хозяйственных построек, навесов, ваз и других малых форм садово-парковой архитектуры. Лианы можно использовать и там, где размещение деревьев и кустарников из-за недостатка площади не представляется возможным.

Очень специфическая разновидность садов на искусственных основаниях – вертикальные сады (или зеленые стены). В настоящее время главным основателем идеи вертикального озеленения считается француз Патрик Бланк.

Выделяют следующие виды вертикального озеленения:

1. Традиционный – емкости для посадки растений размещают на нижней горизонтальной поверхности или заглубляют в пол у стены. На вертикальной поверхности монтируют опоры для стеблей лиан. В ряде случаев опора не только опирается на стену, но и закрепляется в емкости или на полу. Подбираются вьющиеся растения соответствующего стене размера, которые высаживаются в подготовленные емкости и фиксируются на опоре у стены.

2. «Скала» – предусматривается возведение декоративной стены со специальными местами для растений. Фитокомпозиция очень декоративна и удобна для ухода, но не всегда отвечает поставленной задаче. Такое композиционное решение напоминает не столько стену, сколько горный склон. Декоративный эффект в большей степени обусловлен структурой камня, которым поверхность облицовывается.

3. «Балконный» способ – размещение растений в навесных ящиках. Ящики на кронштейнах крепятся к стене, в них помещают ампельные растения или мелкие лианы, которые, свешиваясь, закрывают посадочную емкость и часть стены. Малый для нормального развития растений объем почвы, и место крепления ящиков затрудняют обслуживание этого типа композиций. Иногда емкости с грунтом помещают на полу верхнего пролета лестницы. Тогда стебли растений свисают вниз, декорируя лестничный пролет и, создавая занавес, маскируя окно или проход в стене.

4. «Стеллаж» – стена является несущей конструкцией для ряда полок, на которые и устанавливаются растения. Если крепление полок к стене нежелательно, то рядом со стеной устанавливают стеллажную конструкцию, на которой растения и размещают. Часто стену за стеллажом делают зеркальной, зрительно увеличивая объем помещения. Растения, как правило, не закрывают стеллаж полностью.

5. Флорариум – установка вместо стеллажа у стены можно установить мини тепличку. Емкости с растениями закрепляются на стенах и на декоративных опорах (корягах).

6. Емкости с элементами гидропоники – изготавливаются два типа емкостей, одни – для растений, их крепят к стене, другие – для питательного раствора. Они устанавливаются на полу. Растения без грунта помещаются в настенные емкости. В настенной емкости может находиться инертный наполнитель или опилки. К растениям насосом из нижней емкости подается питательный раствор. Излишек раствора самотеком сливается в ту же емкость. Такая упрощенная гидропонная система не предусматривает контроля за постоянно изменяющимися концентрациями питательных веществ и pH в растворе. Не предусматривается обеззараживание раствора от микроорганизмов. То есть, система не рассчитана на долгое автономное функционирование. Иногда такое техническое решение, как и следующее, объединяют в один «аквариумный тип» вертикального озеленения.

7. Ковровый тип – на вертикальной поверхности закрепляется специальная инертная подложка (из оргстекла или поликарбоната), на которой закреплено полотно из синтетической ткани с повышенными капиллярными свойствами и нашитыми на нее кармашками. Растения с грунтом или с инертным наполнителем (перлит, вермикулит) помещаются в кармашки. Нижний край полотна опущен в лоток, заполненный поливочной жидкостью.

8. «Картина» – иногда на стену помещают фитокомпозицию в виде картины. Одно или несколько кашпо крепятся к несущему листу, который и закрепляется на стене. Лист с кашпо заключен в декоративную рамку. Обычно на листе размещают до 6 кашпо. Количество листов на стене определяется исходя из задач, поставленных перед озеленителем. Недостатки такой конструкции – малый объем почвы, трудности ухода (прежде всего полива и опрыскивания) предполагают регулярную замену растений, утративших свою декоративность.

9. «Колонна» – ящики с питательным грунтом устанавливают друг на друга. С бока или торца ящика делают отверстия для растений. Обычно в них высаживают салат, клубнику или ампельные растения. Полностью задекорировать посадочные емкости не удастся. Иногда контейнеры собирают около стены, хотя опора на нее не требуется. Такая компоновка решает проблему с объемом грунта, но еще больше усложняет уход и ставит дополнительные вопросы к устойчивости конструкции. Сами контейнеры должны быть достаточно прочными, чтобы нижний контейнер смог выдержать вес всей конструкции.

10. «Контейнерный» – растения размещаются в блоках-контейнерах разной емкости. Контейнеры заполнены субстратом, состоящим из питательного грунта, вермикулита и мха-сфагнума. Контейнеры монтируются на самонесущем (не требующем специальной опоры) каркасе из металлического профиля или сетки. К контейнеру подводится система капельного полива. Для предотвращения возможного перелива в нижнюю часть контейнера, как правило, помещен дренаж из мелкого керамзита и водоотводящая система.

11. Блочный тип – растения выращивают практически без внешнего горшка, формируя из субстрата (мха, коры) блок, на котором растение и закрепляют. Применяется только в условиях повышенной влажности воздуха для выращивания эпифитных растений [1].

Каждый из перечисленных способов вертикального озеленения имеет положительные и отрицательные стороны. Выбор той или иной технологии зависит от размера и функционального назначения помещения, материальных возможностей и эстетических предпочтений. Но все эти приемы, способы и технологии направлены для обеспечения жизни растений, входящих в «зеленую стену», и поддержания декоративного вида композиции в целом.

В каждом учреждении образования есть участок, на котором дети проводят значительную часть времени, особенно касается учреждений дошкольного образования, где в теплое время года, участок – это место для игр, прогулок, занятий, наблюдений за растениями и животными в течение всего года. Наличие на участке деревьев, кустарников, огорода, цветника, плодово-ягодных насаждений имеет большое образовательное и воспитательное значение. Дети вместе с воспитателем выращивают растения, ухаживают за ними, получают конкретные представления об их росте и развитии. В процессе ухода за растениями у них вырабатываются умения правильно пользоваться простейшими орудиями по обработке почвы и уходу за растениями, формируется бережное отношение к природе. Красиво оформленный участок, правильно подобранные декоративные растения имеют большое значение для эстетического воспитания.

Озеленение территории школы зависит от ее планировки. Нормативы под школьные участки для относительно небольших школ составляют не менее 1,5–2 га. На этой территории должно быть высажено как можно больше растений.

Территорию школы подразделяют обычно на функциональные зоны: учебно-опытная, отдыха, спортивная и хозяйственная, так живая изгородь из вьющихся растений может использоваться не только для обозначения границ участка, но и для разделения функциональных зон – зоны отдыха, хозяйственной зоны, огорода или для создания так называемых зеленых комнат, очень популярных в регулярных французских садах. Этой цели служат садовые экраны (ширмы, трельяжи), создаваемые из невысоких лиан на опорах в виде решеток из дерева, пластиковых сеток, плетения из ивовых и ореховых прутьев.

Детские сады и ясли, а также школы имеют, как правило, недостаточное количество свободной территории под озеленение, поэтому использование вертикального озеленения является одной из инновационных технологий ландшафтного дизайна. Так как они, как правило, располагаются непосредственно у жилья на внутриквартальных территориях, для защиты участка от ветра, шума, пыли по периметру создают живую изгородь из рядовых посадок деревьев и кустарников, увеличивают ширину полосы со стороны проездов. Площадки для занятий детей различных возрастных групп изолируют друг от друга с помощью естественных зеленых стен. Живая изгородь должна быть плотной, труднопроходимой. Для живой изгороди рекомендуется использовать такие деревья: бук, ель, тополь, туя, дикая яблоня и т. д.; кустарники: акация (желтая, белая, лох серебристый, бирючина,

спирея средняя, можжевельник (красный, обыкновенный, боярышник, кизильник блестящий и т. д.)). Свободно размещенные взрослые деревья должны создавать затененные на протяжении всего дня части площадок, но при этом не затенять здание.

Одна из разновидностей вертикальных садов – это фитостена – вертикальная конструкция-панель из многослойного материала, в карманах которых растут различные живые растения. Общая масса растений создают видимость «стен» из растений или вертикальную цветочную картину-композицию.

Преимущества использования фитостен: используются внутри и снаружи помещений; позволяет существенно экономить площадь пола, так как, для устройства вертикального озеленения используются лишь площади стен; нечувствительность к материалам стен, простота монтажа и ухода, что позволяет создать довольно объемные композиции с большой массой растений; легкий вес конструкции позволяет создавать объемные фигуры и сложные геометрические конструкции.

Устройство вертикального озеленения представляет собой модульную или цельную конструкцию из многослойного материала, которая крепится к стене. В специальных карманах конструкции высаживаются различные растения, которые отлично растут на вертикальных поверхностях. «Зеленые» стены должны размещаться около источников света и на определенном расстоянии от приборов отопления.

Овитые декоративными растениями фасады зданий, другие конструкции и постройки могут сильно изменить облик любого участка. Густые ползающие побеги и лианы часто используются при разделении участка на разные по функционалу зоны. Декоративными живыми оградками и стенами можно отделить зону отдыха, огород или, например, создать своеобразную зеленую комнату.

Если говорить об ассортименте растительности, то наиболее неприхотливы и нетребовательны к почве различные кустарники и лианы: жимолости золотистая, каприфоль, луносемянник даурский, паслен сладко-горький, девичий виноград, калистегия пушистая. Лианы незаменимы при освоении нового земельного участка, когда еще не закончены строительные работы, не посажен плодовый сад, нет возможности разбить цветники. Среди многолетних лиан, пригодных для использования в условиях Беларуси, действительно быстрорастущих мало, например, жимолости, аристолохия крупнолистная, девичий виноград и амурский, из травянистых – хмель, калистегия пушистая. Остальные виды растут в нашей зоне довольно медленно, особенно в первые годы. Поэтому на первом этапе можно использовать либо однолетние лианы, либо сочетания разных видов, например, нецветущих многолетних лиан с цветущими однолетними. Эффектно будут смотреться девичий виноград с хмелем, ипомеей или декоративной фасолью, клематисы, плетистые розы, кодонопсис клематисовидный, настурцию иноземную, ипомею, адлумию, кобею [2].

Множество видов растений можно использовать для декоративного вертикального цветника. Среди них встречаются декоративно-лиственные, декоративно-цветущие и даже плодовые культуры, которые можно выращивать один сезон или несколько лет. Рассмотрим основные виды растений, используемых для вертикального озеленения: виноград амурский, актинидия коломикта, актинидия полигамная, древогубец, плющ (хедера), хмель, жимолость каприфоль, жимолость брауна, клематис, паслен, кампис, квамоклит перистый, ипомея, кобея, азарина, кирказон, декоративная фасоль, настурция, плетистые розы, тунбергия, дикий огурец (эхиноциссис).

Озеленение участков учреждений должно создавать обстановку, способствующую отдыху детей, в непринужденной форме давать информацию, помогающую прививать трудолюбие, бережное и рациональное отношение к природе. Так как учреждение образования – это второй дом для воспитанников и сотрудников. Свой дом всегда хочется сделать светлым, уютным, непохожим на другие.

Безусловно, эффективность педагогического процесса во многом зависит от созданной среды учреждения образования, которая рассматривается как один из факторов развития личности ребенка. Значимый компонент развивающей среды – это благоустроенная, грамотно оформленная территория учреждения, которая носит не только эстетический аспект экологического воспитания детей [4].

Одной из инновационных технологий фотодизайна, которая используется на территории дошкольных и школьных учреждений образования является вертикальное озеленение, которое имеет ряд преимуществ:

- позволяет разместить большое количество растений на малой горизонтальной площади;
- на территории Республики Беларусь имеется достаточное количество растительного ассортимента, подходящего для вертикального озеленения (лиан), которые можно использовать в оформлении территории при учреждениях образования;
- грамотное использование видового разнообразия растений при создании объектов вертикального озеленения может является хорошим источником для обеспечения наглядности при изучении ряда образовательных дисциплин входящих в модуль по экологическому образованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников А.Г. Анализ конструктивных и экономических особенностей систем вертикального озеленения // Урбанистика. – 2021. – № 1. – С. 88 - 98. DOI: 10.7256/2310-8673.2021.1.32365 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=32365.
2. Титчмарш А. Вьющиеся растения / А. Титчмарш: [пер. с англ. Н. Власовой]. – СПб.: ООО Петроглиф, 2011. – 64 с.
3. Шиканян Т.Д. Азбука ландшафтного дизайна / Т.Д. Шиканян. – М.: Кладезь – Букс, 2008. – 141с.

4. Экологическое образование и устойчивое развитие. Состояние, цели, проблемы и перспективы: материалы международной научно-методической конференции, 24–25 февраля 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: электронный сборник / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та. – М.: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2022. – 555 с.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ФИТОИНДИКАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

MODERN METHODS OF PHYTOINDICATION OF TECHNOGENIC POLLUTION OF NATURAL ECOSYSTEMS BY HEAVY METALS

Е. Г. Бусько^{1,2}, Е. В. Акшевская^{1,2}

Eu. Buśko^{1,2}, E. Akshevskaya^{1,2}

¹*Белорусский государственный университет, БГУ*

²*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by*

¹*Belarusian State University, BSU*

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

Представлен метод биоиндикации экосистем тяжелыми металлами. Экологическая значимость этого метода по сравнению с иными типами биоиндикации подтверждена рядом преимуществ. Подчеркивается механизм накопления тяжелых металлов в мохообразных. Выполнена оценка современных лабораторных методов по определению тяжелых металлов в растительности. Представлена методика определения тяжелых металлов (меди, кобальта, свинца) в мохообразных. На основании современных исследований показана значимость как выбора видов мохообразных, так и описанной методики при определении тяжелых металлов в атмосфере, что подтверждает актуальность данной темы.

The method of bioindication of ecosystems by heavy metals is presented. The ecological significance of this method in comparison with other types of bioindication is confirmed by a number of advantages. The mechanism of accumulation of heavy metals in mosses is emphasized. The evaluation of modern laboratory methods for the determination of heavy metals in vegetation was carried out. The method of determination of heavy metals (copper, cobalt, lead) in mossy is presented. On the basis of modern research, the importance of both the selection of moss-like species and the described methodology for the determination of heavy metals in the atmosphere is shown, which confirms the relevance of this topic.

Ключевые слова: техногенное загрязнение, экологический мониторинг, биоиндикация, мохообразные, тяжелые металлы.

Keywords: technogenic pollution, ecological monitoring, bioindication, Bryophyta, heavy metals.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-165-169>

Современное развитие промышленности, энергетики, транспорта, рост населения, урбанизация и химизация всех сфер деятельности человека приводят к загрязнению биосферы, что ведет к нарушению нормального функционирования природных экосистем. Таким образом, все вышеуказанное подчеркивает необходимость постоянного экологического мониторинга отдельных компонентов биосферы.

В настоящее время существует множество методов индикации загрязнения отдельных компонентов окружающей среды – атмосферы, воды, почв, снежного покрова, растений и др. Это как физические, химические, технические методы, так и биологические. Сегодня биоиндикация является актуальной областью экологических исследований. Однако теория биоиндикации до сих пор не была сформулирована до конца, что подтверждает актуальность представленной темы.

Биоиндикация – основной инструмент биологического мониторинга, метод оценки качества среды обитания и состояния биологических систем с использованием живых организмов, поскольку последние наиболее чувствительны к различным видам антропогенного воздействия, она дает наиболее достоверную картину об уровне загрязнения окружающей среды.

Существует множество видов биоиндикации – в зависимости от используемых систематических групп живых организмов выделяют альгоиндикацию (индикаторы – водоросли), лишеноиндикацию (лишайники), фитоиндикацию (высшие сосудистые растения), дендроиндикацию (древесные виды), зооиндикацию (животные), а также бриоиндикацию (мохообразные) [1]. В Беларуси особенно часто в качестве биоиндикатора используют лишайники и древесные виды.

Однако, по нашему мнению, метод бриоиндикации имеет ряд преимуществ:

1. В настоящее время подчеркивается значимость известных заключений, такие как корреляция между содержанием тяжелых металлов в окружающей среде и фитомассе мохообразных, что часто используется в экологическом мониторинге под названием «moss technique», или «моховая техника».

2. Мхи можно выявлять в любое время года, так как эти растения являются пойкилогидрическими, т. е. насыщенность их тканей влагой может меняться в широких пределах, в зависимости от условий окружающей среды, вплоть до полного высыхания, что не мешает им сохранять свою жизнеспособность.

3. Во многих природных и техногенных ландшафтах часто наблюдаются случаи низкого проективного покрытия травостоя, но при этом моховой ярус достаточно развит. Тогда бриоиндикация – единственный способ экологической оценки такого рода [4].

Механизм накопления тяжелых металлов в мхах обусловлен отсутствием или сильным уменьшением кутикулы у этих растений, что приводит к проникновению ионов через ее поверхность непосредственно к ионообменным местам на стенках клеток. Поскольку поверхность листьев содержит лишь один слой клеток, осуществляется очень тесный контакт с окружающей атмосферой, и именно этим путем питательные вещества и тяжелые металлы поступают внутрь тканей. При сравнении аккумуляции тяжелых металлов различными видами растений некоторые исследователи отмечают существенно более высокий уровень накопления тяжелых металлов лишайниками и, особенно, мохообразными в зоне воздействия предприятий металлургии (рис. 1–3). Кроме того, тесно сидящие ветви и образование плотно сомкнутого растительного покрова позволяют мхам эффективно фильтровать воздух, поглощая основное количество пыли из атмосферы. Так, установлено, что почти 100 % начального поступления тяжелых металлов перехватываются мхом, причем в дальнейшем около 20 % могут вымываться атмосферными осадками [3].

В последние десятилетия проводились исследования, касающиеся выбора видов мохообразных для определения тяжелых металлов в атмосфере. В качестве индикаторов тяжелых металлов рекомендованы эпифитные бриофиты *Hypnum revolutum* (Mitt.) Lindb., *Distichium capillaceum* L., *Orthotrichum fallax* L.; а также широко применяются и эпигейные виды: *Dicranum scoparium*, *Pottia bryoides*, *Tortula inermis* (Brid.) Mont., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Pohlia nutans*, *Pleurozium schreberi*, *Funaria hygrometrica* и многие другие.

Нами были проанализированы современные лабораторные методы по определению тяжелых металлов и фтора химическими методами в почвах, растениях и водах при изучении степени загрязнения окружающей среды.

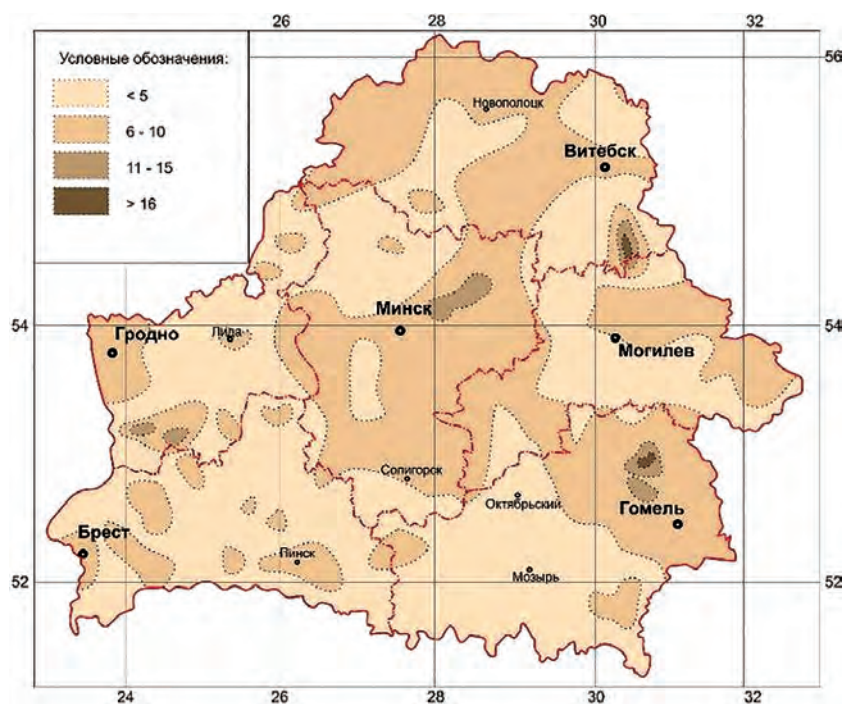


Рисунок 1 – Карта-схема содержания меди в растительности Беларуси [5]

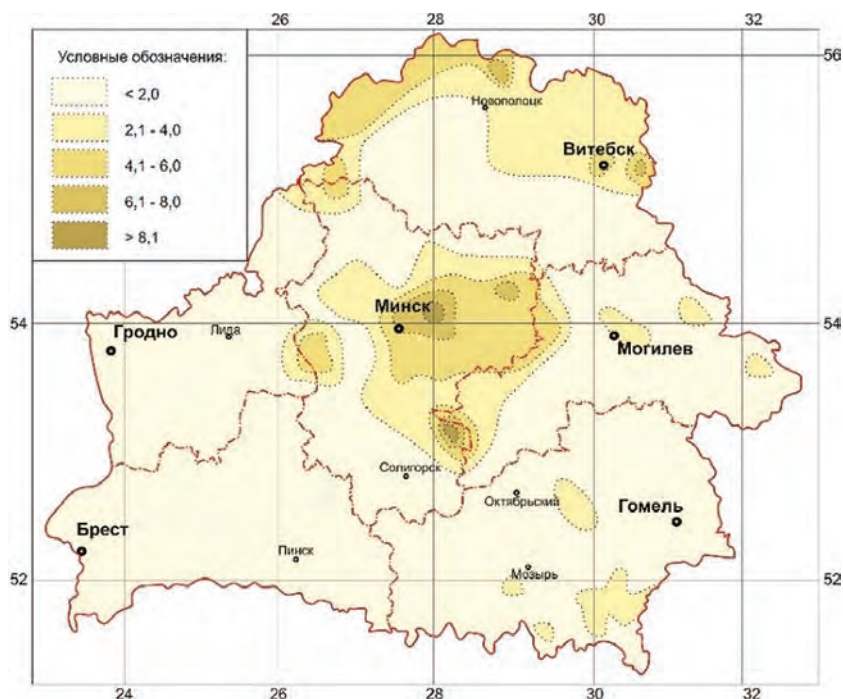


Рисунок 2 – Карта-схема содержания кобальта в растительности Беларуси [5]

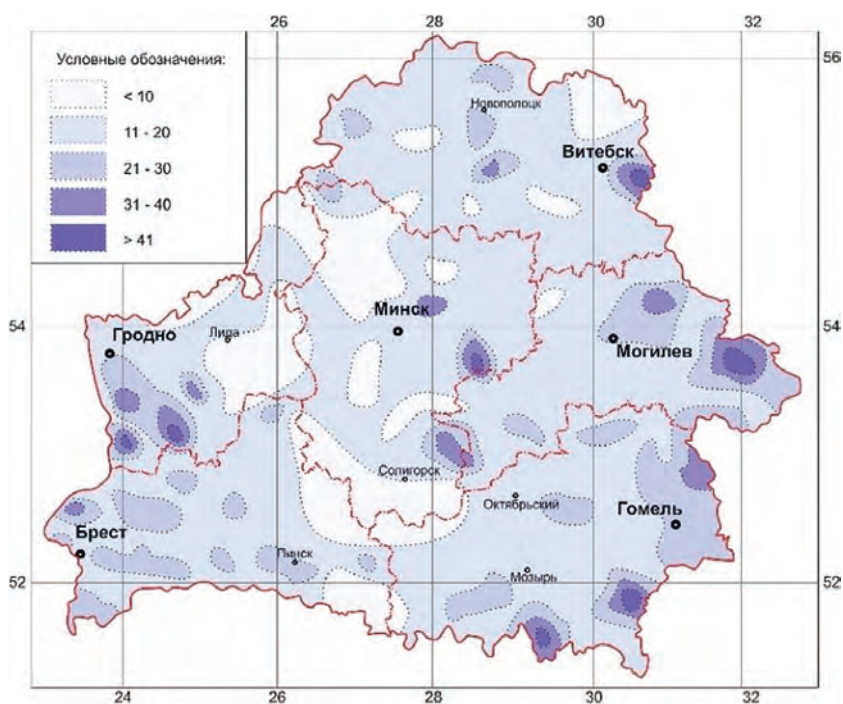


Рисунок 3 – Карта-схема содержания свинца в растительности Беларуси [5]

Методика определения тяжелых металлов (Cu, Co, Pb) в мохообразных

1. **Подготовка биоматериала.** Растения высушивают до воздушно-сухого состояния и тонко измельчают на мельнице типа «Пируэт». Навеску 2 г. помещают в платиновую чашку (объем 50 мл, диаметр 4 см), ставят в холодный муфель, постепенно поднимая температуру до 500 °С, и озоляют при этой температуре 4 часа. Чашки вынимают из муфеля, охлаждают и обрабатывают золу, добавляя бидистиллят и азотную кислоту. Затем, высушивают на закрытой электрической плитке при невысокой температуре и снова помещают в муфель на 15–20 мин. Полученную золу обрабатывают 2 раза соляной кислотой, высушивая на закрытой электрической плитке. Затем золу растворяют при нагревании в 10 мл 10% раствором HCl и фильтруют через фильтр (белая лента), промывая водой, подкисленной HCl. Если на фильтре остается заметный осадок, фильтр с осадком переносят в платиновую чашку или тигель, подсушивают на электрической плитке и помещают в муфель, прокаливая при температуре 500 °С. Когда остаток в тигле станет белым, его обрабатывают несколькими каплями воды, соляной кислоты

и 2–3 мл фтористоводородной кислоты, выпаривают на закрытой электрической плитке и снова обрабатывают фтористоводородной кислотой. Двух обработок фтористоводородной кислотой бывает вполне достаточно, чтобы полностью удалить SiO_2 . Остаток растворяют при нагревании в 10% растворе соляной кислоты и полученный раствор присоединяют к основному раствору. Раствор зол помещают в мерную колбу емкостью 50 мл и доводят до метки бидистиллированной водой. В полученном растворе определяют тяжелые металлы, иногда для определения можно пользоваться аликвотной частью раствора, но часто на определение одного элемента химическим методом расходуется весь раствор. Озольять сразу большую навеску не рекомендуется, поскольку при этом могут происходить заметные потери тяжелых металлов.

2. Определение меди. Зольный раствор, соответствующий 1–2 г. растительного материала, переносят в капельную воронку емкостью 100 мл. Прибавляют 2 капли раствора фенолфталеина и 5–10 мл 10% раствора лимоннокислого аммония, перемешивают и прибавляют по каплям концентрированный аммиак до получения слабого розового окрашивания. Затем добавляют из бюретки 15 мл свежеприготовленного раствора диэтилдитиокарбамата свинца в CCl_4 и встряхивают 10 минут. Дают фазам разделиться и фильтруют органическую фазу через сухой, свободный от следов меди, фильтр в кювету фотоколориметра с толщиной просматриваемого слоя в 1 или 2 см и измеряют оптическую плотность при 453 нм против CCl_4 . По полученным для стандартных растворов величинам оптических плотностей строят градуировочную кривую, по которой устанавливают содержание меди в испытуемых растворах.

3. Определение кобальта. Содержание кобальта в растениях обычно очень низкое, поэтому его определение с нитрозо-R-солью затруднено недостаточной чувствительностью реакции. Для определения кобальта в растениях могут быть рекомендованы ПААФ (2,2-пиридилазо-5-диэтиламинофенол) и ПААК (5,2-пиридилазо-2-моноэтиламино-крезол). В стакан емкостью 50 мл помещают раствор зол, отвечающий 2,5 г. растительного материала, осторожно выпаривают и растворяют остаток в 10 мл 0,3 М раствора HCl . Приливают 2,5 мл 20 % лимоннокислого натрия, 2,5 мл 3 М раствора уксуснокислого натрия. Тщательно перемешивают, pH раствора должно быть близким 5. Прибавляют 1 мл 0,05% раствора ПААФ или ПААК, перемешивают. Через 10 минут приливают 1 мл насыщенного раствора трилона Б, снова перемешивают и ставят на 30 минут на водяную баню, нагретую до температуры 80 °С. Охлажденный раствор переносят в капельную воронку емкостью 100 мл, на которой намечен объем 20 мл, и доводят объем раствора бидистиллированной водой до метки. Приливают 5 мл хлороформа и встряхивают в течение 5 минут. После разделения слоев нижний органический слой сливают в кювету фотоколориметра. Колориметрирование рекомендуется выполнять на приборе «Спекол» для ПААФ при 570 нм и для ПААК при 350 нм (кювета с просматриваемым слоем 3 см). В качестве холостого раствора используют раствор, содержащий все реактивы, кроме кобальта. Для построения калибровочного графика в стаканчики емкостью 50 мл помещают по 10 мл стандартного рабочего раствора кобальта, содержащего 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5 и 1,0 мкг Co .

4. Определение свинца. Содержание свинца в растениях в среднем составляет 0,5 мкг/г, поэтому для его определения приходится работать с большой навеской. 10–15 г. измельченных и высушенных до абсолютно сухого состояния растений помещают в фарфоровую чашку и сжигают в муфеле при температуре 450 °С. Зола обрабатывают азотной кислотой, высушивают на водяной бане и ставят на 15–20 минут в муфель. Осветленную золу растворяют в соляной кислоте, как описано выше. Солянокислый раствор зол помещают в капельную воронку на 100 мл, добавляют 5–10 мл 10% лимоннокислого аммония и раствор нейтрализуют аммиаком до перехода окраски индикатора в синюю (тимоловый синий), pH раствора отвечает 9–10. Приливают 5 мл 0,01 % раствора дитизона в CCl_4 и интенсивно встряхивают в течение 5 мин. Дают фазам разделиться и сливают дитизоновый слой в чистую капельную воронку. Операцию экстракции дитизоном повторяют до тех пор, пока дитизон не перестанет менять свою первоначальную зеленую окраску. К собранному дитизонатным экстрактам приливают 2 раза по 10 мл 0,02 н раствора HCl и встряхивают, при этом свинец и цинк переходят в водную фазу. Водную фазу помещают в капельную воронку. Прибавляют несколько капель фенолового красного и нейтрализуют раствором соды до перехода окраски индикатора в оранжевую. Добавляют 2 мл 10% раствора желтой кровяной соли, затем 2 мл 1% раствора гидросиламина и 2 мл 10 % раствора лимоннокислого аммония, перемешивают и нейтрализуют раствором соды до малинового окрашивания фенолового красного (pH 8,5–9,0). Добавляют 10 мл 0,001 % раствора дитизона в CCl_4 , энергично встряхивают в течение 30 сек и после разделения фаз сливают дитизоновый слой, содержащий дитизонат свинца, непосредственно в кювету фотоколориметра с просматриваемым слоем в 1–2 см и немедленно фотоколориметрируют при 520 нм против раствора CCl_4 . Строят калибровочную кривую, беря стандартные растворы с содержанием свинца 2; 2,5; 10 мкг/мл.

В заключение следует отметить, что некоторые из представленных методов не проходили экспериментальной проверки и были представлены лишь по литературным источникам. Исходя из этого существует перспективное научное направление в указанной области. Представленные нами методики требуют проверки и доработки, а также необходимо определить специфичность методов для мохообразных. Разумеется, использование представленных методик возможно для любых видов растений, однако экологическая значимость мохообразных в вопросах техногенного загрязнения экосистем тяжелыми металлами подтверждена рядом современных исследований и будет подтверждаться в новых экспериментах, накапливая опыт в продолжении изучения техногенного загрязнения экосистем в мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Steinees, E. Environmental Science and Technology / S. N. Meijer, W. A. Ockeneden, E. Steinees, B. P. Corrigan and K. C. Jones. 37. 2003. – P. 454.
2. Акатьева, Т. Г. Оценка качества атмосферного воздуха в с. Армизонское Тюменской области методом биоиндикации // Вестник Нижневартовского государственного университета. №1/2020. – С. 151–156.
3. Баркан, В. Ш. Содержание тяжелых металлов в доминантных видах мхов как индикатор аэротехногенной нагрузки / В. Ш. Баркан, И. В. Лянгузова // Лапландский государственный биосферный заповедник. Экология, № 2. – 2018. – С. 119–126.
4. Богданова, Я. А. О выявлении экологических оптимумов мохообразных / Я. А. Богданова, Е. С. Корчиков, Н. В. Прохорова // Самарский научный вестник. – 2016. № 1 (14). – С. 10–14.
5. Бусько, Е. Г. Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси / Е. Г. Бусько, Е. А. Сидорович, Ж. А. Рупасова, К. Д. Чубанов, Н. М. Арабей, К. К. Кирковский, Н. И. Пикулик // Наука и техника, 1995. – С. 317.

СОСТОЯНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СОХРАНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИИ *POTENTILLA RUPESTRIS* L.

STATUS AND OPTIMISATION OF THE *POTENTILLA RUPESTRIS* L. POPULATION

Т. В. Юнкевич¹, А. Г. Чернецкая^{2,3}
T. V. Yunkevich¹, A. G. Chernetskaya^{2,3}

¹Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь
tatyana_yunkevich@mail.ru

²Белорусский государственный университет, БГУ

³Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
alla.chernetskaya@iseu.by, chealval@gmail.com

¹Polessky state university, Pinsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU

³International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

За последнее время значительно сократились размеры популяций видов растений: по площади ареала и численность особей, подверженных наибольшему риску исчезновения (виды I–II категорий охраны), что свидетельствует о регрессивном типе сукцессионной динамики этих популяций и необходимости принятия срочных специальных мер охраны и реинтродукции.

В статье представлены результаты оценки состояния и оптимизации сохранения популяций охраняемых растений на примере вида I категорий охраны *Potentilla rupestris* L.

Recently, the size of plant species populations has significantly decreased: in terms of area and the number of individuals at greatest risk of extinction (species of protection categories I–II), indicating a regressive type of successional dynamics of these populations and the need to take urgent special protection and reintroduction measures.

The article presents the results of assessment of the state and optimization of conservation of populations of protected plants by the example of species of protection category I, *Potentilla rupestris* L.

Ключевые слова: мониторинг охраняемых растений, лекарственные растения, редкие и охраняемые растения, категории охраны, *Potentilla rupestris* L.

Keywords: protected plant monitoring, medicinal plants, rare and protected plants, protection categories, *Potentilla rupestris* L.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-169-172>

В составе отечественной и иностранных фармакопей насчитываются сотни лекарственных средств произведенных на основе растительного сырья. В последнее время особо возрастает интерес к лекарственным средствам из растений. Около 80 % мирового населения применяет растительные препараты. Из всех видов высших сосудистых растений планеты около 80000 имеют лекарственное значение [1]. Лекарственные растения являются категорией особо уязвимой вследствие интенсивной, нерациональной, недостаточно контролируемой заготовки сырья. При введении в культуру лекарственных растений – мере, являющейся крайне необходимой в условиях быстрого истощения дикорастущих ресурсов [1] – учет разнообразия природных популяций является также важным.

К настоящему времени в лаборатории биоразнообразия растительных ресурсов Центрального ботанического сада НАН Республики Беларусь создана коллекция пряно-ароматических и лекарственных растений, насчитывающая более 500 видов и разновидностей, относящихся к 40 семействам. Она представлена как таксонами флоры Беларуси, так и инородными флор.

Значительную часть растений, имеющих потенциально важное значение в качестве источников лекарственного сырья при условии введения в культуру, составляют редкие и исчезающие виды, генофонд которых в большинстве случаев находится в опасности деградации. Разнообразие генофонда в целом высокое, но наблюдается его структурированность по отдельным популяциям, каждая из которых обладает значительно меньшим уровнем полиморфизма. Популяции претерпевают уменьшение эффективного размера в больших масштабах, до нескольких десятков и сотен особей генеративного возраста. Эти процессы усугубляются деградацией генофонда вследствие чрезмерных заготовок лекарственных растений, приводящих к дальнейшему уменьшению плотности.

Мониторинг охраняемых видов растений (далее – МОВР) выступает одним из направлений Государственной программы обеспечения функционирования и развития Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. Важным считаем, что система программных и методических документов, определяющих ведение МОВР, объединяет исследования по единой программе наблюдений и методике.

По данным наблюдений за состоянием охраняемых видов растений Республики Беларусь отмечено, что в большинстве популяций отмечены регрессивные популяционные процессы. С большой долей вероятности, можно утверждать, что уже утрачены места произрастания 8 видов растений (сосудистые растения: бодяг серый, болотноцветник щитовидный, молочай мохнатый, пузырник судетский, сверция (трипутник) многолетняя, скабиоза голубиная; мохообразные: андрея скальная, цинклидотус дунайский), что составляет 2,6 % от общего списка охраняемых видов.

На грани исчезновения популяции 13 видов сосудистых растений (в том числе астранции большой), что составляет 4 % от общего списка охраняемых видов. За последние два десятилетия значительно сократились их размеры (площадь, численность особей), что свидетельствует о регрессивном типе сукцессионной динамики этих популяций и необходимости принятия срочных специальных мер охраны. Изучение в дальнейшем возможных процессов реинтродукции охраняемых растений и определяет актуальность наших исследований.

За последние два десятилетия значительно сократились их размеры (площадь, численность особей), что свидетельствует о регрессивном типе сукцессионной динамики этих популяций и необходимости принятия срочных специальных мер охраны.

Основными лимитирующими факторами распространения анализируемых видов являются природные сукцессии в фитоценозах с их участием, которые вызваны или усилены в последние десятилетия изменением режима землепользования (прекращением кошения травостоя и частной пастьбы скота и как следствие – зарастание экотопов древесно-кустарниковой растительностью и плотнотравными злаками), а также изменением гидрологического режима местообитаний.

Особое внимание в исследованиях редких видов, следует обращать на изучение процессов самоподдержания популяций, на изменения морфометрических показателей генеративных особей под воздействием факторов среды (природных и антропогенных), на динамику демографических показателей, отражающих изменение жизненного состояния популяции, на отношение видов к поздним весенним заморозкам, влияние сенокоса разных сроков и ранневесенних палов, поражению вредителями, конкуренции со стороны других видов растений.

Особую озабоченность вызывает состояние популяций некоторых видов растений I-й категории национальной природоохранной значимости (*Aconitum lycoctonum* L., *Astrantia major* L., *Cinclidotus danubicus* Schiffn. & Baumgartner, *Orchis ustulata* L., *Phyteuma nigrum* F.W. Schmidt., *Pinguicula vulgaris* L., *Scorzonera glabra* Rupr., *Valeriana dioica* L.), известных в настоящее время на территории республики из 1-2 местонахождений.

Действенной мерой может быть культивирование растений в условиях *ex situ* и путем реинтродукции в природные местообитания, особенно в охраняемые человеком – в ООПТ разных форм.

При решении вопроса выбора объектов для сохранения генофонда рекомендуется использовать методологию, согласно которой необходимо классифицировать аллели, обнаруженные в различных местообитаниях, на группы – локальные, с частотами >0.05 и <0.05 , и имеющиеся у всех популяций варианты с частотами >0.10 и <0.10 . Большой приоритет при этом имеют частые аллели – именно они, вероятнее, отобраны в течение многих поколений. В то же время именно редкие варианты могут, при изменении условий среды, создавать базу для адаптации на популяционном уровне.

Объединение выборок по экологической приуроченности, независимо от географических расстояний между ними, показывает сравнительно большие различия по среднему числу аллелей на локус и ожидаемой гетерозиготности. При создании одной синтетической популяции, включающей все изученные выборки, достигается наибольшее аллельное разнообразие и относительно высокая ожидаемая гетерозиготность.

Теоретически есть опасность того, что искусственное «смешивание» генотипов из разных популяций в одну большую искусственную популяцию может привести к исчезновению иерархической подчиненности популяционных единиц, которые природа создавала на протяжении многих поколений. Для определения числа популяций, включаемых в искусственную выборку, можно воспользоваться вычислениями, что при уровне межпопуляционной дифференциации порядка 20 % для представления 95 % изменчивости достаточно представителей двух популяций [2]. Однако это условие справедливо лишь при относительной гомогенности экологических условий, а в противном случае необходимо использование большего числа популяций.

Существует и проблема «генетического груза», которая теоретически может возникнуть при искусственном повышении аллозимного разнообразия. При создании искусственных популяций важное значение имеют принципы отбора растений в пределах популяций. Генетические исследования позволили определить расстояния, меньше которых не следует отбирать особи для сохранения генофонда *ex situ*.

При введении лекарственных растений в культуру угрозу представляет существенное изменение генофонда природных популяций вследствие использования узкой генетической базы исходного материала (и неконтролируемой гибридизации близких таксонов в условиях *ex situ*). Меры сохранения *ex situ* и рациональное использование растительных ресурсов видов с доминированием вегетативного размножения должны базироваться на создании искусственных выборок клонов, обладающих уникальными многолокусными генотипами и представляющих широкую базу для проведения селекционных работ.

Лапчатка скальная (*Potentilla rupestris* L.) включена в Красную книгу Республики Беларусь 1-го и 2-го изданий (рис. 1). Многолетнее травянистое растение с толстым деревянистым корневищем. Стебель прямостоячий бороздчатый, в верхней части краснеющий, сильноветвистый, высотой 30-60 см. Прикорневые листья малочисленные, 5-7 перисто-раздельные, длиной 6-12 см. Прилистники с короткими яйцевидными ушками. Верхние листья короткочерешковые, тройчатые. Все листочки снизу по жилкам усеяны мохнатыми волосками и железами, по краю реснитчатые. Цветки собраны в многоцветковые метельчатые соцветия. Лепестки белые, длиной 7-11 мм. Плод – многоорешек.



Рисунок 1 – Внешний вид *Potentilla rupestris* L.

Реликтовый, по происхождению среднеевропейский горный вид, находящийся в Беларуси в отдельном локалитете за восточной границей ареала: в Слонимском районе Гродненской области (рис. 2). Впервые местонахождение обнаружено в 19 в. и сохраняется до настоящего времени [3].



Рисунок 2 – Расположение ареала популяции *Potentilla rupestris* L.

Цветет в мае – июне. Зацветает на второй год. Энтомофил. Плодоносит в июле – августе. Размножение семенное.

В единственном известном местонахождении встречается отдельными особями и небольшими группами на площади 2×30 м. По результатам мониторинга на пункте наблюдения жизнеспособность популяции оценивается как «средняя».

Передача мест произрастания вида под охрану пользователям земельных участков, утверждение и реализация плана действий по сохранению вида:

- регулярный контроль состояния популяций;
- поиск новых мест произрастания,
- запрет рубок главного пользования, применения машин при проведении рубок ухода, огневой очистки лесосек;
- сохранение генофонда вида в условиях ex-situ;
- более широкое введение вида в культуру в качестве декоративного растения, расселение в соответствующие природные экотопы.

Выращивается в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси и Ботаническом саду БГУ.

В народной медицине листья скальной лапчатки заваривают как чай. В Болгарии отвар из надземной части применяют внутрь и наружно при лечении эпидемического паротита у детей. Во всех лапчатках в биохимическом составе доминирующими компонентами фенольного комплекса являются флавоноиды (в частности, флавонолы) и дубильные вещества, диапазон лечебных свойств которых очень широк. Флавоноиды повышают проницаемость капилляров, устраняют их ломкость и хрупкость, предотвращают подкожные кровоизлияния, снижают артериальное давление и замедляют сердечный ритм. Дубильные вещества применяют в основном как кровоостанавливающие средства и для увеличения сопротивляемости стенок кровеносных сосудов. Кроме того, они действуют как местные анестетики и антисептики. Доказано, что большие дозы дубильных веществ оказывают противоопухолевое действие, средние – радиосенсибилизирующее, малые – противолучевое.

Из флавонолов в лапчатках в наибольшем количестве содержится рутин. Он показан при варикозном расширении вен, поверхностных тромбофлебитах, хронической венозной недостаточности, геморрое, посттромботическом синдроме и некоторых видах ретинопатии. Также Р-активные соединения связывают и выводят из организма радиоактивные элементы, например, стронций, по этой причине рутин используется при лечении лучевой болезни у жертв радиационных катастроф. Для нашей страны лапчатки – это прекрасная возможность дополнительного источника йода, так как Беларусь – одна из 130 стран мира, в которых по определению Всемирной организации здравоохранения йоддефицитные заболевания представляют собой глобальную проблему.

Заключение. Мониторинг охраняемых видов растений обеспечивает преемственность проведения наблюдений, единство критериев и показателей состояния объектов. По данным наблюдений за состоянием охраняемых видов растений Республики Беларусь отмечено, что в большинстве популяций отмечены регрессивные популяционные процессы. На грани исчезновения популяции 13 видов сосудистых растений (в том числе лапчатки скальной).

Показатели потенциальной и реализованной экологической валентности свидетельствуют о том, что на зональном и региональном уровнях лимитирующим для исследованных охраняемых видов является климатический фактор, ограничивающий распространение видов по растительным зонам, а на локальном – степень азотообеспеченности почв и режим освещенности. Лапчатка скальная (*Potentilla rupestris* L.) – вид наиболее чувствительный к комплексу данных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Farnsworth N., Soejarto D. Global importance of medicinal plants // The conservation of medicinal plants. Proc. Int. consultations (21–27 March 1988, Chiang Mai, Thailand, O.Akerele, H.Synge, eds.). – Cambridge: Cambridge university press. – 2018. – P. 25-47.
2. Пугачевский, А.В. Программа и методика организации и проведения мониторинга охраняемых видов растений в Республике Беларусь: Методическое пособие / А.В. Пугачевский, И.П.Вознячук, Л.В.Семеренко. – Минск: Право и экономика, 2011. – 48 с.
3. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений // И.М. Качановский, М.Е. Никифоров, В.И. Парфёнов [и др.]. – Минск: «Беларуская Энцыклапедыя» імя Петруся Броўкі, 2015. – 448 с.

ВЫРАЖЕННОСТЬ АНТРОПОГЕННОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ, ФЕНЕТИЧЕСКИМ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ВИДОВ-БИОИНДИКАТОРОВ

EXPRESSION OF ANTHROPOGENIC PRESSURE ON ECOSYSTEMS BY MORPHOMETRIC, PHENETIC AND CYTOLOGICAL INDICATORS OF BIOINDICATOR SPECIES

Т. П. Сергеева^{1,2}, О. В. Лозинская^{1,2}, Е. Г. Смирнова^{1,2}, Е. Т. Титова³
T. P. Sergeeva^{1,2}, O. V. Lozinskaya^{1,2}, E. G. Smirnova^{1,2}, E. T. Titova³

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
Минск, Республика Беларусь
res_sector@gmail.by

³ООЗЖ «Зоосвет», г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

³PAAP «Zoosvet», Minsk, Republic of Belarus

Дается сравнительный анализ химического состава почв трех территориальных кластеров, а также особенностей цитологических характеристик и популяционной структуры видов-биоиндикаторов. Выделены виды-индикаторы среди Acrididae. Определены тест-критерии у видов-биоиндикаторов: цитологические показатели – у фитоиндикаторов (*Alium cepa*) и морфо-фенетические признаки – у видов-зооиндикаторов – саранчовых (Acrididae),

A comparative analysis of the chemical composition of the soils of three territorial clusters, as well as the features of cytological characteristics and population structure of bioindicator species is given. Indicator species among Acrididae have been identified. Test criteria have been determined in bioindicator species: cytogenetic parameters in phyto indicators (*Alium cepa*) and morpho-phenetic signs in zoo indicators – locusts (Acrididae).

Ключевые слова: фитоиндикаторы, зооиндикаторы, тест-системы, заповедные территории, техноценозы.

Keywords: phyto indicators, zoo indicators, test systems, reserved areas, technocenoses.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-173-177>

Введение. Наблюдаемое изменение природных условий (заметное потепление) и усиление воздействия антропогенных факторов (загрязнение окружающей среды, трансформация естественных ландшафтов, техногенные катастрофы) сказываются на состоянии условий обитания растительных и животных организмов, а также человека. В контексте современных реалий нельзя не учитывать глубокого преобразования сложившихся природных комплексов в результате быстрых темпов развития техногенных процессов, а также потенциальных угроз на примере аварии Чернобыльской АЭС.

Кроме того, в настоящее время вводятся в строй новые атомные электростанции, в ряду которых находится БелАЭС.

В связи с этим во всех странах значимость приобретают системы мониторинга в зоне действия АЭС, базирующиеся на методах физико-химического и биологического контроля. Причем, в отдельных случаях биологический контроль является ведущим методом оценки наблюдаемых воздействий. Обусловлено это его возможностью выявлять совокупное воздействие факторов среды на живые организмы по показателям их состояния, характеризующих стабильность развития или отклонение от нормального развития. При этом, важное значение приобретает относительная экономическая доступность данного метода. В качестве биоиндикационных объектов в экологических исследованиях используют растения и насекомых [1–4].

И, наконец, контроль состояния территорий, находящихся в неравноценных экологических условиях, необходим для разработки интегральных подходов в обеспечении стабильности экосистем и эффективных мер при принятии управленческих решений, что имеет как теоретическое, так и практическое значение.

Материал и методы. Материалом являлись образцы почв из всех реперных точек, корневая меристема лука репчатого, выращенного на водных вытяжках почв исследуемых территорий и сборы прямостоящих в экологически различающихся биогеоценозах, расположенных в естественной и техногенно-измененной среде.

Выбор объектов был продиктован их широким распространением, доступностью сбора, экологической и экономической значимостью, а также пригодностью их в качестве индикаторов среды.

Полевые исследования проводились в пунктах, расположенных в условиях действия разнородных антропогенных факторов, в том числе и радиационного (ПГРЗ), а также на территории, прилегающей к БелАЭС и на контрольной территории, которой служил Березинский биосферный заповедник.

Определение содержания радионуклидов в образцах почв 3-х разнотипных территориальных кластеров – Полесского государственного радиационного заповедника, Белорусской АЭС и Березинского биосферного заповедника – проводилось методом спектрометрического исследования с использованием гамма-бета спектрометра МКС АТ 1315. В работе представлены данные за период с 2012 г. (с момента подготовки площадки для БелАЭС) и до ввода станции в строй.

Изучение влияния на живые организмы элементного состава почв (в том числе и радионуклидов) – одного из факторов окружающей среды – осуществлялось на используемом в качестве модельного вида луке репчатом (*Allium cepa*) [5] путем выявления цитогенетических нарушений с использованием метода *Allium*-тест.

Состояние среды с помощью зооиндикаторов – представителей семейства Acrididae – определяли по их жизненным формам как наиболее точным показателям условий обитания в ландшафте посредством «внешнего облика (габитуса) животного в сочетании с его биологическими адаптациями» [6], а также полового диморфизма [7].

За основу были взяты морфо-метрические показатели и различия габитуса: угол наклона головы, длина и толщина усиков, соотношение между шириной и высотой тела в области заднегруды: (индекс Ш/В) – меньше или больше 1; отекаемость и окраска тела, гирро- и термопреферендум.

Результаты и их обсуждение. В рамках рассматриваемой проблемы интерес представляет интегральная оценка качества среды, что необходимо для разработки мер по ее сохранению. В качестве одной составляющей комплексной оценки было определение элементного состава почв исследуемых территорий. Результаты спектрометрических исследований проб почв всех реперных точек на содержание радионуклидов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели удельной активности бета- и гамма- излучающих радионуклидов в почвах исследуемых территорий

Точки сбора	Cs-137		Sr-90		K-40	
	Бк/кг	Стат. погр., %	Бк/кг	Стат. погр., %	Бк/кг	Стат. погр., %
ББЗ	10,8	6,1			299,5	8,0
БелАЭС	17,0	10,3			665,33	3,1
Зона отчуждения	10861,3	1,0	2068,9	8,7	429,3	9,2

Результаты измерений показали, что значения содержания радионуклидов в почвах Березинского заповедника и окрестностях Белорусской АЭС (в радиусе 0,5 км) находятся в пределах нормы. Уровень же загрязнения почвы цезием-137 в зоне отчуждения ЧАЭС чрезвычайно высок, что отражено в таблице: его максимальные значения в отдельных точках (д. Масаны) достигали почти 35 тыс. Бк/кг, равно как и уровень стронция-90 – 6679 Бк/кг. Минимальный уровень загрязнения почвы цезием-137 и стронцием-90 зарегистрированы в населенном пункте Бабчин – 8 тыс. Бк/кг и 121 Бк/кг.

Значения радиационного фона в точках сбора зоны отчуждения в порядке убывания составляли следующий ряд: в Масанах до 3,62 мЗв, Красноселье – 1,45 мЗв, Дроньках – 0,34 мЗв, Бабчине – 0,29 мЗв. На территориях БелАЭС и БГБЗ значения находились в пределах нормы.

Оценка изучаемых территорий по цитологическим показателям. Получены результаты цитотоксичности образцов почв по величинам энергии прорастания (ЭП) и митотического индекса (МИ). ЭП и МИ семян лука репчатого *Allium cepa*, пророщенных на вытяжках почв отобранных реперных точек представлен в таблице 2.

Следует отметить, что между значениями энергии прорастания за два года наблюдений статистически значимых различий по годам не выявлено. Широкий диапазон значений ЭП (0,72–0,95) характерен для семян пророщенных на почвах Бел АЭС в 2021 г.

Проанализирована энергия прорастания (ЭП) семян *Allium cepa*. Так, величина энергии прорастания для контрольной пробы К1 (деионизированная вода) составила 0,82±0,05. Тогда как для контрольной пробы К2 (проточная вода) данный показатель ниже – 0,72±0,04.

В таблице 2 представлены данные ЭП семян Березинского биосферного заповедника. Наиболее высокий показатель величины энергии прорастания ($\geq 0,8$) наблюдался в пробах № 3 и № 5, относящихся к точкам сбора Метеостанция 3 и Метеостанция 5. Наиболее низкий показатель ($< 0,6$) наблюдался в пробе № 9 – 0,56±0,03 (Крайцы 4).

Величина энергии прорастания семян на почвах Полесского государственного радиационного заповедника в сравнительном аспекте с контрольными пробами практически во всех точках сходна с энергией прорастания в водопроводной воде. Это может свидетельствовать об оптимальном соотношении микроэлементов в исследуемых вытяжках, и в тоже время о стимулирующем влиянии повышенного уровня радионуклидов в почвах в зоне ЧАЭС.

Таблица 2 – Показатели ЭП и МИ клеток корневой меристемы, пророщенных на образцах почв трех разнотипных территориальных кластеров

№	Бел АЭС				Зона отчуждения				Березинский заповедник			
	ЭП		МИ		ЭП		МИ		ЭП		МИ	
	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г	2012г	2021г
1	0,95	0,95	19,3	16,1	0,55	0,8	7,1	9,1	0,85	0,75	6,7	7,7
2	0,9	0,95	15,8	14,9	0,8	0,95	10,2	11,2	0,95	0,8	6,2	7,4
3	0,7	0,8	13,4	13,1	0,75	0,85	7,9	8,5	0,85	0,85	10,5	9,7
4	0,75	0,8	15,8	12,4	0,66	0,85	6,2	7,6	0,9	0,75	8,1	10,4
5	0,8	0,85	13,6	12,7	0,72	0,85	9,4	10,2	0,75	0,85	6,0	8,1
6	0,8	0,72	9,8	10,1	0,52	0,85	8,2	9,5	0,85	0,75	6,8	7,5
7	0,85	0,85	16	14,9	0,65	0,80	7,8	6,1	0,95	0,8	10,5	9,7
8	0,85	0,95	10,1	9,4	0,58	0,85	9	8,2	0,9	0,75	7,8	7,4
9	0,9	0,85	9,1	10,5	0,72	0,80	9,6	6,3	0,75	0,56	8,2	6,8
K1	0,5	0,82	6,1	7,4	0,5	0,80	6,1	7,4	0,5	0,74	6,1	7,4
K2	0,95	0,72	10,9	9,8	0,95	0,95	10,9	9,8	0,95	0,75	10,9	9,8

Таким образом, значения ЭП семян на почвенных вытяжках ПГРЗ по сравнению со значениями ЭП Березинского биосферного заповедника и БелАЭС имеют более ровный характер и более высокие значения. Это может быть связано со стимулирующим действием радионуклидов, приводящим к увеличению ЭП, а ее снижение – с дисбалансом элементного состава почв исследуемых территорий.

В то же время, полученные данные по нарушению митотического деления корневой меристемы модельного объекта – *Allium cepa*, представленные в таблице 2 позволяют судить о роли элементного дисбаланса, вносящего значительный вклад в снижение митотического индекса. Анализ данных по Березинскому заповеднику в 2012 и 2021 гг. показал, что почвы этой территории, имеющие специфический элементный состав (пониженная концентрация необходимых элементов и повышенная кадмия) обладают хоть и слабым, но митотоксическим действием.

Наиболее низкий митотический индекс (8,0 %) характерен для корневой меристемы, пророщенной на почвах зоны отчуждения в 2012 года. Ранее было показано, что на этой территории наблюдалось постепенное снижение митотического индекса, в 2021г. он имел также невысокое значение – 8,5 %.

Почвы окрестностей территории БелАЭС характеризуются незначительным дисбалансом элементного состава, при этом тяжелые металлы находятся в пределах нормы. Энергия прорастания семян на почвенных вытяжках БелАЭС составляет 0,83 и 0,85 в 2012 и 2021 гг. соответственно. Митотический индекс статистически достоверно ($p \leq 0,05$) отличается от такового в клетках корневой меристемы лука, пророщенного на почвах ПГЭРЗ и Березинского заповедника.

Таким образом, почвы зоны отчуждения и Березинского заповедника схожи низким содержанием железа (что в ряду других исследованных территорий свойственно только им). Однако, существенные различия, наблюдаемые на проростках *A. cepa*, определяются разным количеством делящихся клеток (это следует из значений митотического индекса), что объясняется загрязнением почв зоны отчуждения радионуклидами.

Адаптационные стратегии Acrididae как показатель среды. Усиление антропогенной нагрузки, а также разнообразие ее форм приводит к изменению естественных биогеоценозов и соответственно – к изменению флоры и фауны, в частности, прямокрылых (Orthoptera). При этом последние, имея высокую численность, широкое распространение и присущий им полиморфизм, могут служить индикаторами состояния среды.

Поскольку важной частью экологических исследований является поиск видов-индикаторов для оценки состояния среды, нами были определены такие модельные виды в идентичных типах биотопов (влажных и сухих), характерных для трех территориальных кластеров. Одним из них явился конек луговой (*Chorthippus dorsatus*) – представитель семейства Acrididae. В качестве же одного из основополагающих критериев были использованы жизненные формы насекомых [8].

Этот вид в спектре жизненных форм относится к злаковым хортобионтам (ЗХ). Выявлены его адаптации к условиям среды соответственно морфометрическим и фенетическим показателям популяционной структуры, определяемой (обусловленной) его гигропреферентом. Наличие полиморфных признаков, позволяющих коньку луговому приспосабливаться к разнородной среде, как гигрофильной, так и ксерофильной, характеризует его как эврибионтный вид. Адаптационные приспособления (габитус, угол наклона головы, окраска) обусловлены условиями обитания. что показано на рисунке 1.

На рисунке отображены его приспособительные морфометрические признаки: угол наклона головы 45°, позволяет свободно передвигаться в травостое; окраска тела характерна для условий обитания видов: зеленая соответствует влажной среде (пойменным лугам) (а), бурая – для сухих (б).



а)

б)

Рисунок 1 – Конек луговой – *Chorthippus dorsatus* (Zett., 1821)

Выявлена зависимость фенетической структуры (окраски тела) у популяций эвритопного вида – конька лугового (*Chorthippus dorsatus*) при одинаковом генотипе от гигро- и термопреферендума; а также зависимость габитуса (морфо-метрических признаков) от экологических условий.

Таким образом, использованный биоиндикационный метод для выявления интегрированного воздействия факторов среды на живые организмы по показателям состояния видов-биоиндикаторов и полученные нами результаты соответствуют литературным данным, используемым для оценки природной среды по наличию признаков, отличающихся от нормы у фитоиндикаторов; качественному и количественному составу зооиндикаторов [9, 10].

Спектрометрические исследования проб почв Полесского государственного радиационного заповедника, Белорусской АЭС и Березинского биосферного заповедника на содержание радионуклидов с использованием гамма-бета спектрометра МКС АТ 1315 показали, что наблюдаемые изменения обусловлены разной удельной активностью бета- и гамма-излучающих радионуклидов в почвах. Это позволяет судить о цитотоксичности почв техногенно трансформированных территорий и, кроме того, использовать этот модельный вид – *Allium cepa* в качестве биотеста в экологических исследованиях. Тест-системы, которыми служат цитологические нарушения в клетках меристемы *Allium* сера, выращенного на вытяжках почв изучаемых территорий в лабораторном эксперименте, отразили важную роль элементного состава почв как фактора, оказывающего негативное воздействие на живые организмы, что продемонстрировано на фитоиндикаторе – луке репчатом.

Показана роль адаптаций у зооиндикатора – конька лугового (*Chorthippus dorsatus*), отражающих экологические характеристики сообществ и степень благополучия среды.

Таким образом, исследования, начатые с момента закладки площадки под БЕЛ АЭС, стали точкой отсчета для долгосрочного экологического мониторинга после запуска станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неверова, О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82–92.
2. Хотько, Н. И. Биомониторинг окружающей среды в районах размещения опасных промышленных объектов. Теория и практика / Н. И. Хотько, А. П. Дмитриев. – Саратов: ГосНИИЭНП, 2015. – 184 с.
3. Копанева, Л.М. Прямокрылые (саранчовые и кузнечиковые) индикаторы уровней сукцессии антропогенного типа / Л.М.Копанева, И.В. Иванова // В кн. Актуальные вопросы зоогеографии. – Кишинев: Штиница, 1975. – С. 118–119.
4. Сергеева, Т.П. Роль саранчовых (Acrididae) как индикаторов антропогенно измененных ландшафтов / Т.П. Сергеева, Е.Г. Смирнова // Материалы науч.-практ. конференции «Радиация, экология, техносфера», 3–4 декабря 2015 г., г. Гомель, Республика Беларусь / ред. кол.: И.А. Чешик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ин-т Радиологии, 2015. – С. 123–126.
5. Leme, M. D. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application / M. D. Leme, M. A. Marin-Morales // Mutation Research. – 2009. – Vol. 682, iss. 1. – P. 71–81.
6. Стороженко, С.Ю. Жизненные формы кузнечиковых и ложнокузнечиковых (Orthoptera: Tettigoniodea, Gryllacridoidea) Дальнего Востока СССР / С.Ю. Стороженко; Науч.докл.высш.шк. Биологические науки. – 1982. – 9. – С. 40–52.
7. Стебаев, И.В. Жизненные формы и половой диморфизм саранчовых Тувы и Юго-восточного Алтая. Зоол. журн. – 1970. – Т. 49(3). – С. 20–25.
8. Приставко, В.П. Жизненные формы насекомых как критерий при отборе видов-индикаторов для экологического мониторинга (на примере жуужелиц –Coleoptera, Carabidae) // Энтомол. обозрение. – 1984. – Т. LXIII, № 1. – С. 52–56

9. Биоиндикация как метод мониторинга в процессе территориального управления / А. М. Луговской [и др.] // Пробл. регион. экологии. – 2013. – № 2. – С. 96–97.
10. Выходцева, И. С. Биоиндикация как метод оценки окружающей среды: актуальность и перспективы исследования / И. С. Выходцева, Т. А. Рыхлова // Вестн. ландшафт. архитектуры. – 2015. – № 6. – С. 44–47.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКОЛОГИИ ГОРОДА НА ЗАНЯТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ

THE IMPACT OF URBAN ECOLOGY ON PHYSICAL ACTIVITY AND SPORT

В. Д. Дузинчук^{1,2}, А. Я. Карчмит^{1,2}, С. В. Аксенчик^{1,2}
B. D. Duzinchuk^{1,2}, A. J. Karchmit^{1,2}, S. V. Aksenchik^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
ft@iseu.by, varyaduz@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Воздействие деятельности человека на окружающую среду вызвало изменения гидросферы, литосферы, атмосферы, биосферы и привело к множеству экологических проблем, которые остро стоят перед современным обществом. Вызванные изменения окружающей среды оказали воздействия на все стороны общественной жизни. При этом особого внимания заслуживает взаимосвязь экологии с физической культурой и спортом, которая носит двунаправленный характер. С одной стороны, человек активно воздействует на окружающую среду (строительство и эксплуатация спортивных сооружений, организация и проведение спортивных соревнований и др.). С другой – здоровье человека зависит от состояния окружающей среды, экологической обстановки, в которой тренируется человек [1].

The impact of human activity on the environment has caused changes in the hydrosphere, lithosphere, atmosphere, biosphere, and has led to a multitude of environmental problems that are acute for modern society. The caused changes in the environment have had an impact on all aspects of social life. The interrelation of ecology with physical culture and sports deserves special attention, as it is of a bidirectional nature. On the one hand, man actively affects the environment (construction and operation of sports facilities, organization and conduct of sports competitions, etc.). On the other hand, human health depends on the state of the environment, the ecological situation in which a person trains.

Ключевые слова: факторы окружающей среды, экология, физическая культура, спорт.

Keywords: environmental factors, ecology, physical culture, sports.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-177-180>

Яблоков А.В., Гигичев Ю.П. (2002) отмечают, что доля экологической составляющей в ухудшении состояния здоровья населения и развитии заболеваний, по оценке ВОЗ, составляет 20–30 %, а по данным авторов других обзоров – 40–60 %. Доля экологической составляющей значительно увеличивается при дополнительном воздействии на организм физической нагрузки. Повышенный общий обмен веществ, высокий объем дыхания при занятиях физическими упражнениями приводят к поступлению в организм большего, чем в обычных условиях, количества химических экологически негативных факторов. При этом высокий уровень физической нагрузки при занятиях спортом снижает такие показатели, как иммунная защита, нейтрализующие способности печени, крови. Истощаются резервные возможности нейроэндокринной системы. При тренировках и соревнованиях в естественной природной среде на организм спортсмена действуют не только антропогенные экологически негативные факторы, но и дополнительные природные, в первую очередь, экстремальные физические факторы среды.

В процессе занятий спортом состав вдыхаемого воздуха оказывает существенное влияние на самочувствие и здоровье человека. В городском воздухе, в результате антропогенного воздействия, в значительном количестве содержатся: оксид углерода, диоксид серы, оксид азота, бензоперен, пыль и т.п. Все они вредны для здоровья человека.

Например, диоксид азота NO₂ считается одним из наиболее распространенных и токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу транспортными средствами, тепловыми электростанциями и металлургическими

предприятиями. Эффектом, вызываемым вдыханием этого вещества человеком, является повышенное сопротивление дыхательных путей. Кроме того, это вещество вызывает изменения в составе крови, например, снижает содержание в ней гемоглобина, а диоксид азота способствует росту онкологических заболеваний [2].

Источником промышленной пыли являются выбросы в атмосферу промышленными предприятиями различных щелочных и кислотных газов. Пыль оказывает вредное воздействие на верхние дыхательные пути человека. Кроме того, неблагоприятное воздействие пыли на организм может вызвать ряд заболеваний: специфических (пневмокониоз, аллергические заболевания) и неспецифических (хронические заболевания органов дыхания, заболевания глаз и кожи, онкологические заболевания).

В Республике Беларусь основными отраслями промышленности являются легкая и пищевая промышленность, машиностроение, химическая и нефтехимическая промышленность, металлообработка, электроэнергетика и др. Среди крупнейших промышленных предприятий Беларуси - ОАО «Мозырский НПЗ», РУП «Белоруснефть», ЗАО «Атлант», ОАО «Нафтан», РУП «Гомсельмаш», ПО «Беларускалий», РУП «Белорусский металлургический завод», РУП «Минский тракторный завод», ОАО «Минский автомобильный завод», РУП «Белорусский автомобильный завод» и др. Они загрязняют воздух диоксидом азота, оксидами углеводородов, серы, аммиака, пылью, соединениями свинца, фтористым водородом и другими. Заводы расположены не только в крупных областных городах Беларуси, но и в небольших районных городах, в результате чего атмосфера загрязнена практически повсеместно [3]. Принятые меры по минимизации выбросов вредных веществ в атмосферу, однако, не приводят к желаемым результатам.

Необходимо отметить, что в 2019 году состояние атмосферного воздуха по наиболее распространенным загрязняющим веществам в Полоцке, Барановичах, Борисове, Пинске, Речице, Орше, Светлогорске, Бобруйске, Бресте, Витебске, Гродно, Лиде, Мозыре, Солигорске и в большинстве районов Гомеля, Новополоцка и Могилева оценивалось как стабильно хорошее. Нестабильная экологическая обстановка отмечена в отдельных районах Гомеля, Минска и Жлобина. Кроме этого, в Новополоцке зафиксирован случай с превышением в 1,4 раза средне-суточной ПДК по серы диоксиду, но уровень загрязнения воздуха веществами сохранялся низким. Превышения норматива качества (до 2 ПДК) по аммиаку зарегистрированы только в воздухе Могилева. Единичные случаи незначительных (до 1,1 раза) превышений максимально разовых ПДК по фенолу зафиксированы в Новополоцке, по сероводороду – в Мозыре.

В 2021 году состояние атмосферного воздуха по наиболее распространенным загрязняющим веществам оценивалось в основном как очень хорошее и хорошее. Доля периодов с удовлетворительным, плохим и очень плохим качеством атмосферного воздуха в населенных пунктах была незначительна. Они были связаны с повышенным содержанием диоксида азота в воздухе Минска и Полоцка, диоксида серы в Новополоцке, ТЧ-10 в Гомеле и Могилеве, ТЧ-2,5 в Жлобине. Повышение уровня загрязнения оксидами азота наблюдалось в воздухе Минска, Полоцка, Могилева и Жлобина.

Результаты стационарных наблюдений за атмосферным воздухом показывают то, что состояние атмосферного воздуха городов Беларуси достаточно хорошее:

- среднегодовые концентрации наиболее распространенных загрязняющих веществ в большинстве городов сохранялись ниже установленных нормативов качества;
- среднесуточные концентрации суммарных твердых частиц и диоксида азота превышали ПДК только в отдельных городах;
- превышения максимально разовых ПДК отмечены только в 0,25–0,50 % от общего количества проанализированных проб. От 80 до 90 % превышений находились в пределах 1–2 ПДК, концентрации загрязняющих веществ выше 5 ПДК регистрировались менее чем в 1 % случаев превышений.

Таким образом, сравнивая данные за 2019 и 2021 годы, можно сказать, что экологическая ситуация в Беларуси несколько улучшается за счет снижения количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу. Однако экологическая ситуация, сложившаяся в городах, все еще в определенной степени негативно сказывается на здоровье человека.

Регулярные занятия физкультурой с оздоровительным эффектом не используются должным образом, так как правильно подобранные упражнения повышают сопротивляемость организма к неблагоприятным воздействиям окружающей среды. Но стоит помнить, что при интенсивных тренировках, в организме человека возрастает потребность в кислороде, усиливается общий кровоток и обменные процессы. Городской воздух, вдыхаемый во время физических тренировок, который содержит вредные вещества, в свою очередь, ставит под сомнение пользу тренировок.

Известный американский ученый К. Купер (1987) утверждает, что для достижения наибольшего оздоровительного эффекта необходимы:

- участие в работе больших мышечных групп;
- возможность продолжительного выполнения упражнения;
- ритмический характер мышечной деятельности;
- энергообеспечение работы мышц в основном за счет аэробных процессов.

В «экологически неблагоприятных регионах особенно актуальной становится задача создания максимальных условий и соответствующей материально-технической базы для осуществления как организованной, так и самостоятельной оздоровительной деятельности различных демографических групп населения методами физической

культуры, спорта и туризма», – считает Л.А. Калинин. По его мнению, в наибольшей степени решению этой задачи способствует экоспорт, который включает в себя три направления:

- 1) занятия спортом в естественной природной среде;
- 2) физические упражнения в измененной естественной или предварительно сформированной окружающей среды;
- 3) экоспорт как самостоятельный вид спорта.

Примерами первого направления могут быть: легкая атлетика, бег по пересеченной местности, альпинизм, горные лыжи и другие виды спорта.

Физические упражнения в измененной естественной или предварительно сформированной среде связаны с загрязненной городской средой, в которой люди живут, тренируются и соревнуются. Наличие патогенных факторов в среде человека приводит к развитию внутренней эндогенной патологии, невозможности достижения высоких спортивных результатов и снижению устойчивости или полному падению высоких спортивных результатов.

Экоспорт предполагает реализацию двигательной активности спортсмена в условиях передвижения в трех средах: на воде (байдарки, гребные лодки и т. д.), на земле (горный велосипед, роликовые коньки, роликовые лыжи) и в воздухе (парашют и мини-парашют) – с использованием средств, которые не загрязняют (или минимально загрязняют) окружающую среду. [4]

Должны быть построены специальные экостендионы, которые будут включать наличие водоемов, холмов и терренкуров. Состав воздуха имеет особое значение при проведении крупных международных соревнований в городах с загрязненной атмосферой. Таким образом, при подготовке маршрута для марафона, спортивной ходьбы, езды на велосипеде определяется ПДК веществ в воздухе и по ее показателям прибегают к профилактическим мерам:

- 1) поливают асфальтированную дорогу (утром и вечером);
- 2) в течение 3-7 дней он закрыт для общественного транспорта;
- 3) весной (или осенью) он благоустраивается (высаживаются цветы, деревья, кустарники и т.д.), газоны засеваются травой. Трасса соревнований должна проходить вдали от промышленных предприятий, предпочтительно на окраине города.

Установлено, что для эффективного занятия спортом необходим чистый воздух с высоким содержанием отрицательных ионов. Такой состав воздуха может быть в горных районах, лесах, парках, прибрежной зоне [5]. Не рекомендуется тренироваться (бегать) вдоль дорог (магистралей), вблизи фабрик и заводов, в долинах, расположенных вблизи промышленных предприятий и т.д.

Любая физическая подготовка полезна, если люди тренируются, в пределах своих физических и функциональных возможностей, чтобы быть здоровыми. Во время тренировок спортсмены развивают такие физические качества, как скорость, сила, выносливость, гибкость и т.д.,

Однако приравнять физическую форму к здоровью – ошибка. Некоторые из наших спортсменов высокого класса страдают серьезными проблемами со здоровьем, начиная от диабета и заканчивая астмой и болезнью Грейвса.

Если человек здоров, то он должен быть в форме, так как физическая форма – это один из неотъемлемых аспектов здоровья. Но быть в форме – это не верный признак того, что спортсмен здоров. Даже когда спортсмены находятся на пике своего развития, их иммунная система может быть хрупкой, поэтому их устойчивость к внешнему вмешательству снижается, а уязвимость к инфекциям возрастает. Более того, здоровье спортсменов всегда подвергается риску ухудшения, если они получают травмы.

Спортивные травмы могут быть вызваны множеством факторов. Риск получения травм всегда снижается при адекватной тренировке. Как правило, частота травм и их тяжесть зависят от вида спорта и его особенностей. Например, частота травм, полученных футболистами и гандболистами, выше, чем у спортсменов, занимающихся триатлоном или настольным теннисом, а тяжесть их травм ниже, чем у боксеров и дайверов.

Таким образом, анализ исследований позволяет сказать, что для минимизации последствий занятий физической культурой в неблагоприятных условиях городской среды следует:

- 1) использовать аэробные и скоростно-силовые упражнения на занятиях по физической культуре;
- 2) проводить занятия в озелененных зонах города, максимально отдаленных от промышленных загрязнителей;
- 3) спортивные залы необходимо оборудовать аэроионизаторами, которые насыщают воздух отрицательными ионами, учитывать установленные гигиенические нормы при организации и проведении занятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Круталевич, М.М. Физическое воспитание в формировании здорового образа жизни и экологической культуры личности / М.М. Круталевич, О.Н. Онищук, А.Р. Борисевич // Сахаровские Чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й международной научной конференции, 17–18 мая 2018 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ; под ред. С.А. Маскевича, С.С. Позняка. – Минск, 2018. – Ч. 3. – С. 241–242.
2. Экология городской среды: учеб. пособие / А.А. Челков [и др.]; под общ. ред. К.Ф. Саевича. – Минск: Высшая школа, 2015. – 368 с.
3. Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь. – 2018, 2019. – Режим доступа: <https://rad.org.by/articles/vozduh/sostoyanie-atmosfernogo-vozduha-v-1-kvartale-2018-goda> ©rad.org.by.

4. Ибрагимов, А. Т. Влияние экологических факторов при занятиях физической культурой и спортом / А. Т. Ибрагимов // Молодой ученый. – 2015. – №11. – С. 1884–1885.

5. Экологически обусловленные заболевания и физическая активность, О. В. Григорьева, канд. пед. наук, доцент, С. А. Полиевский, д-р мед. наук, профессор, С. Р. Карьёнов, канд. пед. наук.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ *ALDROVANDA VESICULOSA* В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ

ECOLOGICAL FEATURES OF THE POPULATION *ALDROVANDA VESICULOSA* IN CONDITIONS OF URBANIZATION

Л. А. Куриченко, А. А. Волчек
L. A. Kirichenko, A. A. Volchak

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь
lakobrinetch@mail.ru
Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus
lakobrinetch@mail.ru

В работе представлены результаты гидроморфологических, гидрохимических, гидробиологических и биоценологических исследований пруда «Мухина яма» г. Жабинки Республики Беларусь. Проведена оценка влияния биогеохимических и почвенно-геохимических условий водосборов на качество воды пруда; установлены экологические условия существования популяции *Aldrovanda Vesiculosa* 2 категории охраны Красной Книги республики Беларусь в условиях городской среды.

In the paper presents the results of the hydromorphological, the hydrochemical, the hydrobiological and of the biocenotic studies of the “Mukhina Yama” pond in Zhabinka, Republic of Belarus. The influence of the biogeochemical and soil-geochemical conditions of watersheds on the quality of pond water was assessed; the ecological conditions for the existence of the *Aldrovanda Vesiculosa* population of the 2nd category of protection of the Red Book Republic of Belarus in the urban environment have been established.

Ключевые слова: Альдрованда пузырчатая, Красная Книга Республики Беларусь, урбанизированный водоем, экологическое состояние.

Keywords: *Aldrovanda Vesiculosa*, Red Book Republic of Belarus, urbanized reservoir, ecological condition.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-180-183>

Введение. В 2020 – 2021 гг. при изучении экологического состояния водных объектов г. Жабинки Брестской области в пруду «Мухина яма» впервые была обнаружена популяция вида категории 2 природоохранной значимости республики Беларусь насекомоядного водного растения семейства Росянковые – Альдрованды пузырчатой *Aldrovanda Vesiculosa*.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования является пруд «Мухина яма» расположенный в малодоступном месте г. Жабинка, в непосредственной близости от автодороги Р104 и р. Жабинка. Картограмма расположения пруда показана на рисунке 1. На пруд оказывается незначительная рекреационная нагрузка, он является объектом любительского рыболовства. Антропогенная нагрузка на водоем происходит в результате попадания ливневых стоков с автодорожной магистрали Р104 и ливневых стоков оборудованной автомобильной стоянки возле протестантского храма.

Изучение гидроморфологических характеристик водоемов проводилось полевыми методами и методами ГИС-картирования по следующим морфометрическим параметрам: максимальная длина (L), максимальная ширина (B), максимальная глубина (H), средняя глубина (h), площадь водного зеркала (A), прозрачность воды (P), длина береговой линии (L_l). На основе этих данных рассчитывались показатель удлинённости береговой линии L^* (формула 1) и степень развития береговой линии S (формула 2) [3, 4]:

$$L^* = \frac{L}{B}, \quad (1)$$

$$S = \frac{L}{2\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}}}. \quad (2)$$

Отбор образцов воды, консервация и транспортировка для определения гидрохимических показателей проводились в соответствии с реестром методик химического анализа поверхностных и сточных вод Республики

Беларусь [1]. Отбор проб воды проводился стандартными методами с приповерхностной части водоема с глубины 0,3–0,5 м. Образцы транспортировали в лабораторию и хранили в холодильнике при 4°C в течение 24 ч. Анализ проб воды по гидрохимическим показателям проводили в течение суток с момента отбора стандартными методами.



Рис.1 – Схема месторасположения пруда «Мухина яма» г. Жабинка Брестской обл.

Анализ гидрохимических показателей качества воды водных объектов проводился следующими методами: водородный показатель pH потенциометрическим методом; удельная электропроводность кондуктометрическим методом; жесткость комплексонометрическим титрованием; содержание катионов кальция, магния, натрия, калия методом капельного электрофореза (или комплексонометрическим титрованием); химическое потребление кислорода ХПК методом окислительно-восстановительного титрования; растворенный кислород и БПК₅ (биохимическое потребление кислорода после пяти суток инкубации) скляночным методом; содержание карбонатов и гидрокарбонатов потенциометрическим титрованием; содержание сульфатов турбидиметрическим определением (или капельным электрофорезом); содержание хлоридов методом капельного электрофореза (или осадительным титрованием нитратом серебра I); содержание фосфат-ионов, фосфора общего Р_{общ}, нитритов, нитратов, ионов аммония, железа общего Fe_{общ} фотометрическими методами; азот общий N_{общ} титрованием по Кьельдалю; тяжелые металлы (Zn, Cu, Pb, Cd) методом вольт-иммерсионной амперометрии; общая минерализация гравиметрическим методом; анионоактивные поверхностно-активные вещества АПАВ и нефтепродукты люминесцентными методами.

Отбор образцов для исследования гидробиологических показателей экологического состояния водоемов проводился стандартными методами.

Видовой состав биоценозов водоемов определялись с помощью определителей птиц, рыб, млекопитающих, земноводных, членистоногих, ракообразных, простейших, водорослей, сосудистых растений.

Оценку качества воды водоемов по гидробиологическим показателям устанавливали микробиологическими способами и с помощью санитарно-показательных организмов.

Оценка уровня экологического состояния городского водоема проводилась согласно действующих в Республике Беларусь нормативных документов [2].

Результаты исследований. Пруд «Мухина яма» природно-антропогенного происхождения, образовался в годы ВОВ в результате взрыва авиационной бомбы. Морфометрические параметры водоема: максимальная длина 0,064 км, максимальная ширина 0,039 км, максимальная глубина 3,1 м, средняя глубина 1,6 м, площадь водного зеркала 0,002 км², прозрачность воды 1,5 м, длина береговой линии 0,25 км, коэффициент удлиненности 1,64, степень развития береговой линии 1,58 [3]. «Мухина яма» непроточный водоем с замедленным водообменом, котловина карстового типа, берега песчаные, склоны крутые, поросшие разнотравьем.

Гидрохимические характеристики воды водоема указаны в таблице 1. Схожие значения гидрохимических показателей в течение нескольких лет свидетельствуют о устойчивости экосистемы пруда. Однако некоторые показатели отличны от таковых для континентальных пресных водоемов. Так превышены показатели жесткости, вода в пруду жесткая, электропроводность воды (в норме 3–4 мС), бихроматная окисляемость (ХПК), содержание соединений кальция, железа, хлоридов, сульфатов.

Таблица 1 – Основные гидрохимические показатели качества воды пруда «Мухина яма»

Показатель	2020 г.	2021 г.
pH	7,73	7,65
Электропроводность, mS	8,50	8,70
Жесткость, мг-экв/дм ³	9,40	6,58
ХПК, мг/дм ³	18,40	19,65
Растворенный кислород, мг/дм ³	8,70	6,75
БПК ₅ , мг/дм ³	1,29	5,25
Ca ²⁺ , мг/дм ³	152,30	115,73
Mg ²⁺ , мг/дм ³	21,88	9,82
Na ⁺ , мг/дм ³	41,72	120,87
Fe _{общ} , мг/дм ³	2,10	2,15
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	268,40	285,94
Cl ⁻ , мг/дм ³	186,38	180,16
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	308,28	308,3
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	0,0015	0,062
P _{мин} , мг/дм ³	0,0005	0,020
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	–	0,16
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	–	0,00
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	–	0,41
N _{мин} , мг/дм ³	–	0,36
СПАВ анионакт., мг/дм ³	0,16	0,11
Общая минерализация, мг/дм ³	846	878
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,12	0,09

Так по составу вода в водоеме характеризуется как кальциево – натриевая хлоридно – сульфатная. Вода в пруду слабоминерализованная, однако характеризуется повышенным солесодержанием. Повышенные показатели ХПК и БПК₅ характеризуют наличие органических веществ в водоеме.

Экосистема пруда представлена такими макрофитами как водокрас обыкновенный, пузырчатка обыкновенная, ряска тройчатая, роголистник полупогруженный, рдест нитевидный, сальвиния плавающая (4 категория охраны Красной книги Беларуси), альдрованда пузырчатая (2 категория охраны, рисунок 2), кубышка желтая, тростник обыкновенный, рогоз узколистный, камыш озерный, ситник жабий. Животный мир представлен лягушкой озерной, клопом красным, физой пузырчатой. Ихтиофауна представлена карасем, ершом, окунем, плотвой щукой и др.



Рисунок 2 – Сальвиния плавающая и Альдрованда пузырчатая среди Водокраса обыкновенного

Гидробиологическое состояние пруда «Мухина яма» определялось по санитарно-показательным макрофитам. Установлено, что водоем загрязнен органическими веществами и тяжелыми металлами. Наблюдаются признаки эвтрофирования водоема.

Заключение. Оптимальными условиями обитания *Aldrovanda Vesiculosa* в городских водоемах можно назвать следующие:

1. Труднодоступность, низкий рекреационный потенциал (крутые, высокие берега, большая степень зарастания прибрежной зоны);
2. Вода в водоеме характеризуется как жесткая, с повышенным солесодержанием и высокой концентрацией хлоридов, сульфатов и солей тяжелых металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменений климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев – Минск : Альтернатива, 2017. – 239 с.
2. Кириченко, Л. А. Состояние экологического статуса водоемов бассейна реки Западный Буг / Л. А. Кириченко // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 78–81.
3. Ecological condition of water bodies of the south-west of Belarus in spring 2020. Larysa Kirichenko, Aliaksandr Volchak and Anna Golovach. E3S Web Conf., 212 (2020) 01007. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201007>

ОЦЕНКА ПРИРОДООХРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА БЫСТРОРАСТУЩИХ ДРЕВЕСНЫХ КУЛЬТУР В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ASSESSMENT OF THE CONSERVATION POTENTIAL OF FAST-GROWING TREE CROPS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

В. Н. Копиця^{1,2}, О. И. Родькин³
V. N. Kapitsa^{1,2}, O. I. Rodzkin³

¹Белорусский государственный университет, БГУ

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

³Учреждение образования «Белорусский Национальный Технический Университет» Минск, Беларусь

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

³Belarus National Technical University Minsk, Republic of Belarus

Быстрорастущие древесные культуры семейства Ивовые (Salicaceae) получают большое распространение на плантациях Мира. В Европе и США они используются на энергетические цели, а также находят применение и в других целях. В представленной работе дана оценка природоохранному потенциалу ивы и тополя в у и перспективам их использования в хозяйственных целях в условиях Республики Беларусь. Рассмотрены экологические ниши ивы и тополя, на основании чего проанализированы перспективы распространения этих культур в условиях изменения климата.

Fast-growing tree crops of the Willow family (Salicaceae) are widely spread on the plantations of the World. In Europe and the USA, they are used for energy purposes, and others. In this work, it was made the assessment of the conservation potential of willow and poplar, the prospects for their use for economic purposes the Republic of Belarus. The ecological niches of willow and poplar are considered, on the basis on which the prospects for the distribution of these crops under the conditions of climate change are analyzed.

Ключевые слова: ива, тополь, Salicaceae, Salix, возобновляемые источники энергии, деградация окружающей среды, изменение климата, биомасса, загрязнение почвы, фиторемедиация, экология растений

Keywords: poplar, willow, Salicaceae, Salix, biomass, climate change, SCR, soil pollution, environmental degradation, phytoremediation, erosion control, plant ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-183-186>

Быстрорастущие древесные культуры семейства Ивовые (*Salicaceae*) получают большое распространение на плантациях Мира. В Европе и США они используются на энергетические цели, а также находят применение и в качестве строительных материалов, медоносов, мелиорантов, для проведения фиторемедиации загрязненных и нарушенных территорий и т.д. Внедрение энергетических плантаций на основе быстрорастущих древесных культур позволяет снизить нагрузку на окружающую среду, в том числе внести вклад в решение одной из ключевых экологических проблем – борьбе с изменением климата.

В соответствии с Парижским соглашением 2015 года Республика Беларусь приняла на себя обязательства по снижению выбросов парниковых газов к 2030 г. не менее чем на 28 процентов по отношению к уровню базового 1990 года. Данный документ был одобрен Указом Президента Республики Беларусь от 16 ноября 2015 года № 461 [1].

Развитие возобновляемой энергетики, в частности производства и использование биомассы энергетических культур на возобновляемой основе не теряет своей актуальности даже с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС. Это направление согласовывается с тенденциями развития мировой энергетики, направленной на постепенную декарбонизацию экономики за счет внедрения возобновляемых источников. Древесная щепа – это местное возобновляемое биотопливо, производство энергии на основе которого не учитывается при оценке выбросов парниковых газов. Таким образом, актуальность развития возобновляемой энергетики на основе использования энергетических культур будет неуклонно возрастать, и недооценка этого направления приведет к снижению конкурентоспособности промышленного производства Республики Беларусь на международном рынке, направленном на стратегию декарбонизации. Более того, в перспективе, продукция, произведенная без использования технологий, направленных на декарбонизацию не будет допускаться на международный рынок.

Для Республики Беларусь, с учетом климатических условий наиболее перспективными древесными видами для создания энергетических плантаций являются ива и тополь.

Данные систематические группы не являются новыми на территории нашей страны. Несколько (17) видов ивы, и 2 вида тополя являются аборигенными видами. Многие из них, также, как и интродуцированные, издавна используются в декоративных и фитосанитарных посадках. В современных условиях В Республике Беларусь начаты работы по распространению промышленных посадок ивы и тополя для обеспечения энергетических и сырьевых целей. Проводятся исследовательские работы по изучению экологической адаптированности плантаций к условиям Беларуси, в том числе с учетом изменения климата и возможности их использования на антропогенно-загрязненных и деградированных землях.

Природоохранный потенциал быстрорастущих древесных плантаций не ограничивается только вопросами, связанными с климатическими изменениями. Он включает такие направления как биологическая рекультивация деградированных земель, борьбу с эрозийными процессами, сохранение биоразнообразия, оптимизацию микроклимата на региональном (местном) уровне.

Основные характеристики растений тополя и ивы с учетом возможности их выращивания на энергетические цели в климатических условиях Беларуси приведены ниже

Тополь. Тополь распространён в Беларуси повсеместно. Является родом быстрорастущих деревьев, принадлежит семейству Ивовые (*Salicaceae*). Тополя живут чаще до 60-80 лет, но максимально могут достигать 120–150 летнего возраста. Тополь является наиболее требовательным к условиям произрастания из семейства ивовых. Он хорошо растёт на суглинистых почвах с неглубоким залеганием грунтовых вод, а супесчаные и менее увлажненные почвы не благоприятствуют его росту. Тополь предпочитает плодородные, оструктуренные, слабокислые или нейтральных почвы. Влаголюбив и предпочитает всегда влажную почву, но без застоя воды, т.е. не выдерживает заболачивания может расти в умеренно влажной почве, но без сильной пересушки. Тополя в своё время получили широкое распространение в озеленении городских улиц и аллей благодаря быстрому росту и устойчивости к повреждениям, продолжая расти даже когда ломается или спиливается часть дерева. Но из-за тополиного пуха, который вызывает аллергическую реакцию у многих горожан, от тополя стали постепенно избавляться. Тополь отличается лёгкой и мягкой древесиной, которая хорошо обрабатывается. Широко используется древесина тополя в технических целях: в качестве сырья для бумаги, изготовления спичек, фанеры, различной тары и других пиломатериалов.

Использование насаждений тополя изменилось несколько десятилетий назад в связи с разработкой принципов насаждений короткого оборота (SRC) и адаптацией их для тополей (как правило, SRC состоит из густо посаженных, высокоурожайных сортов ивы или тополя, убираемых с периодичностью в 2–7-летний цикл), появление новых быстрорастущих сортов тополя и сильное политическое давление в странах Евросоюза в пользу новых источников возобновляемой энергии. Кроме того, было установлено, что быстрорастущие тополя можно использовать и для фиторемедиации. Было обнаружено что их можно успешно использовать для очистки органически загрязненных почв. Более того, хотя они и не являются гипераккумуляторами, они также могут выжить на земле, сильно загрязненной тяжелыми металлами. Что еще более важно, эти приложения (производство биоэнергии и фиторемедиация) можно комбинировать. В связи с этим появляются перспективы использования SRC на загрязненных землях Беларуси, а полученную биомассу использовать для получения энергии на районных ТЭЦ [2].

Ива. Виды рода *Salix* различаются по своему экологическому распространению и могут быть разделены на две основные группы: аллювиальные или прибрежные (растущие вдоль рек, берегов ручьев) и водно-болотные (растущие на водонасыщенных почвах). В обоих случаях ивы образуют относительно устойчивые сукцессионные стадии.

На разных стадиях развития и роста виды *Salix* предъявляют разные требования к влаге. Общая экологическая приуроченность *Salix* к водно-болотным угодьям и поймам отражает среду с постоянным снабжением влагой для немедленного прорастания семян. Доступность влаги во время прорастания семян имеет решающее значение, поскольку семена *Salix* сохраняют жизнеспособность всего несколько недель; это может быть ограничивающим фактором в регионах с засушливыми условиями поздней весной. Однако после укоренения всходов постоянная влажность почвы не так важна для выживания многих видов ивы. Большинство видов *Salix* хорошо приспособлены к гипоксическим условиям, в то же время выявлено, что некоторые виды предпочитают минеральные, а не органические почвы.

Подводя итог, можно сказать, что основными факторами, контролирующими естественное распространение и численность видов ивы, являются наличие влаги для прорастания семян и укоренения всходов, отсутствие ранних конкурентов и наличие полного солнечного света.

Ива обеспечивает высокий выход древесины на низко плодородных и даже деградированных почвах. Данный род деревьев не любит легкие песчаные, тяжелые глинистые и плохо структурированные торфяные почвы.

Аутэкология ив включает также стратегию ранних сукцессионных растений. колонизация вновь открытых местообитаний, в том числе горных районов. К ним относятся искусственные среды обитания, такие как придорожные канавы, заброшенные сельскохозяйственные поля, железные дороги, старые хвостохранилища и гравийные карьеры, а также недавно сторевавшие, оледеневшие (беспочвенные) или затопленных территорий, где возмущение приводит к открытое сообщество с низким уровнем конкуренции, позволяющее временно увеличивать преобладание условно-патогенных видов.

Важные приспособления и ограничения ивы как вида-первопроходца включают:

- их способность колонизировать олиготрофные участки с ограниченным содержанием питательных веществ, такие как болота, песчаные дюны, речной песок и гравийные отмели;
- формирование симбиотических ассоциаций с микоризные грибы, обеспечивающие дополнительный запас питательных веществ для растений роста (виды *Salix* выигрывают от везикулярно-арбускулярной эндомикоризы, которая использует фосфора, а также эктомикоризы, использующие органический азот;
- ежегодное производство многочисленных семян и эффективная система рассеивания семян на большие расстояния (легкий вес и прикрепление к волосам семян ивы), увеличивая шансы найти место для прорастания и роста; укоренение в растительных промежутках, способствующее тем растениям, которые могут переносить полный солнечный свет (ива не приспособлена к затенению);
- высокая относительная скорость роста при относительно короткой продолжительности жизни [3].

Характеристика древесины. Тополь относится к средне-усыхающим породам древесины. Древесина тополя мягкая, но вязкая и трудно расщепляется и раскалывается, плотность 450 кг/м³. Малостойкая против гниения и других биоповреждений. Древесина мягкая, однородная, ее прочностные свойства близки к липе. Хорошо раскалывается, усыхает умеренно, мало растрескивается, хорошо поддается обработке, легко полируется и окрашивается. Древесина тополя мягкая, легкая, белая, она хорошо обрабатывается и широко используется для технических целей: сырье для бумаги, изготовление спичечной соломки, для получения искусственного шелка, пиломатериалов, долбленых лодок, тары. Так же используется изготовления древесного угля, дров, для облицовки мебели, изготовления шпона, корыт, лопат. Влажность при уборке 60–70 %

Древесина ивы по своим характеристикам близка к тополи. Ива – рассеянно-сосудистая ядровая порода которая так же относится к средне-усыхающим породам. Плотность древесины ивы составляет 400–450 кг/кубометр, что соизмеримо с древесиной тополя или липы. Этот материал подвержен биологическим воздействиям. Все породы ивы легко поддаются ручной и машинной обработке. При разделке древесина ивы ломкой сильно растрескивается и раскалывается. Древесина ивы удовлетворительно склеивается и даёт хорошие результаты при обычных видах отделки. Несмотря на лёгкость и мягкость, древесина ив характеризуется вязкостью лишь на 15 % меньшей, чем у ясеня. По основным показателям механических свойств древесины ива напоминает тополь, но приблизительно на 20 % превосходит его по твёрдости поперёк волокон и сопротивлению раскалыванию, но уступает ему в жёсткости. Влажность при уборке 45–50 %.

В соответствии с вышесказанным, промышленные посадки тополя и ивы могут быть использованы не только как источник возобновляемой энергии, но и как источник сырьевой древесины; посадки могут и должны использоваться для фитореконструкции нарушенных территорий, причем ива и тополь могут занимать разные экологические ниши, что должно позволить охватить более широкий спектр территории. Поэтому в свое время нами и нашими коллегами (МГЭУ им. А. Д. Сахарова) были заложены несколько плантаций ивы и тополя в различных почвенно-экологических условиях. Посадка проводилась черенками, полученных как белорусских насаждений (ива), так и черенков, полученных из Сербии (ива и тополь). Для вновь заложённых плантаций наиболее критичными факторами оказались повышенная кислотность и влага (ива) и влажностной режим, сроки посадки и, возможно, некоторая подсушенность черенков (для тополя). В связи с этим был сделан вывод о необходимости наличия маточных насаждений ивы и тополя в Беларуси для обеспечения качественным посадочным материалом для закладки экспериментальных либо промышленных плантаций. Наши исследования по изучению фитосанитарного состояния и биологического разнообразия в заложённых посадках показали их адаптивное соответствие почвенно-климатическим условиям Беларуси. В то же время выявлен потенциальный риск распространения спектра возбудителей болезней ивовых и растительоядных насекомых-вредителей, которые в перспективе

могут оказать влияние на фитосанитарное состояние посадок ивы и тополя при расширении монокультурных плантаций [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Беларусь от 16 ноября 2015 года № 461 «О проекте международного договора» (Указ Президента Республики Беларусь от 16 ноября 2015 года № 461 «О проекте международного договора»). Режим доступа: http://www.etalonline.by/document/?regnum=p31500461&q_id=0 - Дата доступа 27.09.2021.
2. Stobrawa, K. Poplars (*Populus* spp.): Ecological Role, Applications and Scientific Perspectives in the 21st Century (Reviewpaper). 2014. *Baltic Forestry* 20(1): 204-213 Режим доступа: [https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2014-20\[1\]/Poplars_Ecological%20Role.Applications%20and%20Scientific%20Perspectives\[Review\].pdf](https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2014-20[1]/Poplars_Ecological%20Role.Applications%20and%20Scientific%20Perspectives[Review].pdf) Дата доступа 27.01.2022.
3. Kuzovkina, Y.A.; Quigley, M.F. Willows Beyond Wetlands: Uses of *Salix* L. Species for Environmental Projects March 2005 *Water Air and Soil Pollution* 162(1):183-204. Режим доступа: http://cag.uconn.edu/plsc/plsc/files/Kuzovkina_2_3892275331.pdf Дата доступа 27.01.2022.
4. Копиця В. Н Вредители промышленных энергетических плантаций быстрорастущей ивы в условиях Республики Беларусь, В. Н. Копиця, О. И. Родькин, О. А. Шкутник, №7 № 1(7)2009, Экологический вестник,

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В Г. МИНСКЕ ЗА ПЕРИОД 2020–2021 гг. ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ CHANGES IN AIR TEMPERATURE IN MINSK CITY FOR THE PERIOD 2020–2021 DATA FROM AUTOMATIC METEOROLOGICAL STATIONS

**Т. В. Шлендер¹, Е. А. Чумаков²,
А. О. Сычевский², Е. А. Прокопчик², М. А. Крупская²
T. Schlender¹, Y. Chumakov², A. Sychevskiy², Y. Prokopychik², M. Krupskaya²**

¹Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ

²Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики

г. Минск, Республика Беларусь

timajaya@mail.ru

zhenya.chumakov.02@mail.ru

a.i.g.o.r@mail.ru

ogurchikop7@gmail.com

mandelshtamoo@gmail.com

¹National Ozone Monitoring and Research Center BSU

²Faculty of geography and geoinformatics BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе рассматривается климат города, его характерные черты и факторы. Делается акцент на распределение температуры воздуха в городе, городском острове тепла и методах ее исследования. Приводятся данные автоматических метеорологических станций и дорожных измерительных станций г. Минска и пригорода обработанные в Python. Построены карты температур воздуха г. Минска за период 2020-2021 гг. за весь период и в отдельные месяцы года в программе ГИС ArcGIS. Полученные результаты относительно схожи с данными спутниковых снимков поверхностной температуры. Сравнивается мощность городского острова тепла г. Минска в различные сезоны года и с другими прошлыми исследованиями по г. Минска.

The paper considers the climate of the city, its characteristic features and factors. Emphasis is placed on the distribution of air temperature in the city, urban heat island and methods of its study. Data from automatic meteorological stations and road measuring stations in Minsk and its suburbs are given. Maps of air temperatures in Minsk for the period 2020-2021 were built for the whole period and in certain months of the year. The obtained results are relatively similar to the data of satellite images of land surface temperature. The range of the urban heat island in Minsk in different seasons of the year is compared with other previous studies in Minsk.

Ключевые слова: климат города, городской остров тепла, автоматические метеостанции, ArcGIS, температура воздуха

Keywords: urban climate, urban heat island, automatic weather stations, ArcGIS, air temperature.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-186-190>

Климат – многолетний режим погоды для данной местности, которая зависит от солнечной радиации, подстилающей поверхности, рельефа и циркуляции атмосферы [1]. Городской климат отличается тем, что, помимо выше перечисленного, дополнительными, а зачастую и основными факторами являются состав и свойства подстилающей поверхности (альbedo, геометрия зданий, улиц), степень застройки (этажность, плотность) и антропогенные выбросы (газовые и тепловые) автотранспорта и промышленных предприятий [2]. Таким образом, изменения глобального климата происходят на фоне роста площадей и населения городов, что создает локальные и микроклиматические особенности города. В работе [3] выделяются слои в различных масштабах города. Слой, располагающийся ниже уровня крыш зданий (так называемый пологий городской слой, urban canopy layer, UCL) и между особо стоящих зданий, относится к микромасштабу (см. рис. 1). Здесь важную роль в этом городском микроклимате играют характеристики радиационного обмена, между стенами зданий, растениями и геометрией улиц. Слой, до 100-150 м высотой и в пределах нескольких кварталов, улиц, так называемый городской пограничный слой (urban boundary layer, UBL) относится к локальному масштабу климата города. И последний слой в рамках 1 км высотой над городом относится к планетарному граничному слою (planetary boundary layer, PBL), где воздух свободный и мало подвержен влиянию города.

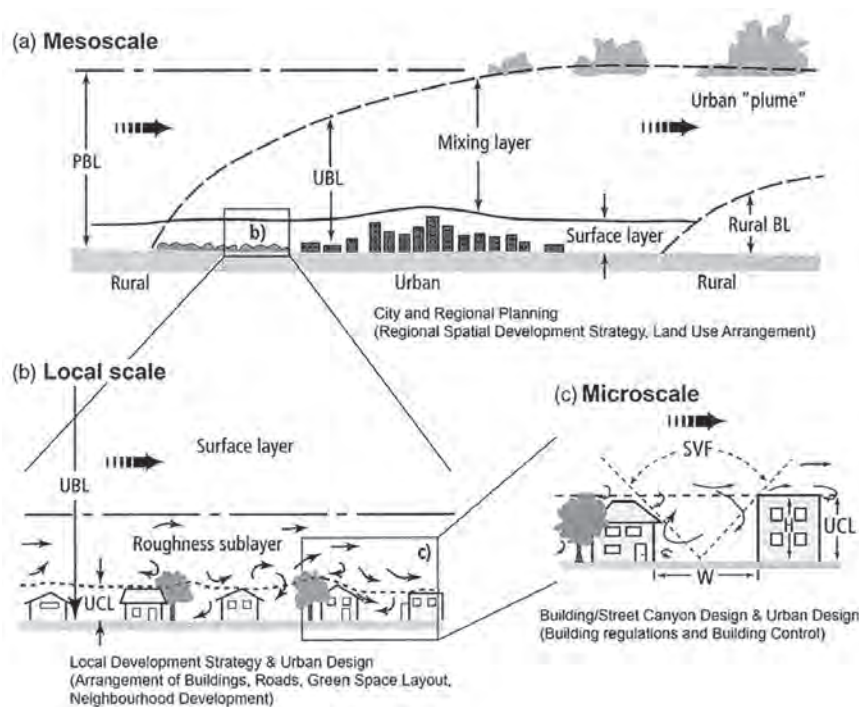


Рисунок 1 – Различные масштабы и слои городского климата [3].

В связи с этим возникает проблема городского острова тепла (ГОТ) как явление характерное только для городских территорий, в том числе и для различных масштабов и слоев городского климата. Как для всего города в целом, так и для отдельных его локальных зон и микромасштабных территорий планировки. ГОТ можно исследовать несколькими методами: наземные – когда используются данные, в пределах города, наземных метеостанций, автоматических метеостанций (АМС), ручных измерений, автомобильных или других транспортных средств перемещения метеоаппаратуры; дистанционные – использование спутниковых снимков для определения поверхностной температуры (land surface temperature, LST) и расчета на основе этих данных ГОТ; численные – применение математических моделей для описания метеопараметров в рамках городской застройки с учетом радиационных и теплофизических свойств подстилающей поверхности. В каждом из методов есть свои преимущества и недостатки. Например, численные модели позволяют полностью отразить все критерии ГОТ, но могут иметь погрешности в степени параметризации и интерполяции ГОТ. Спутниковые методы позволяют оценить LST с учетом реальной городской застройки в широком пространственном охвате в один момент времени, но имеют малый временной интервал (раз в две недели получить снимок над конкретным регионом и только в конкретное время суток) или грубую степень съемки (шаг съемки от 30 м до 1 км масштаба). Наземные методы позволяют определить метеопараметры только в локальной точке местности и степень достоверности будет высока в зависимости от калибровки прибора, но не учитывать состояние климата на соседней улице или внутри квартала. Так или иначе все методы актуальны для исследования ГОТ.

Так как само явление ГОТ известно давно (еще в начале 19 века), но данная проблема не теряет актуальности и в настоящее время. Поскольку в Беларуси последние, крупные работы, которые рассматривали климат города, ГОТ были лишь в прошлом веке, в конце 70-х годов. Основополагающая работа М. А. Гольберга [4] была посвящена климату г. Минска, где были представлены основные характеристики климата столицы Беларуси в различные сезоны года по сравнению с пригородными метеостанциями за 4 летний период, полученные по наземным

данным метеостанций. Была сформирована мезоклиматическая схема районов г. Минска на основе метеостанций в различных частях города с учетом плотности городской застройки за период 1971-1972 гг. Было замечено, что высокая плотность застройки и промышленных территорий в Заводском районе влияет на ночные температуры, значения которых схожи с центральной частью города в безоблачные дни. Выделен ГОТ по кривым температуры воздуха окраинных и городских станций в различные сезоны года. В июле центр теплее, чем окраины на 1,3 °С, а в январе – на 0,5 °С. Были сделаны микроклиматические съемки с учетом экспозиции и планировки зданий в районе Зеленого луга и ул. Орловской в ясные теплые дни. Представлена биоклиматическая характеристика г. Минска по классификации Федоровой.

В идеале, для полноценного понимания образования и развития ГОТ необходимо выполнять комплексные исследования всех факторов, влияющих на температуру воздуха в городе, теплового, радиационного баланса городской подстилающей поверхности и антропогенных выбросах.

В данной случае исследование ГОТ г. Минска проводилось по наземным автоматическим метеостанциям и дорожным измерительным станциям (ДИС) за период 2020–2021 гг. Этот период выбран из-за доступности полных рядов данных такого рода. Были использованы все метеостанции города, расположенные на улицах Шаранговича, Тимирязева, Богдановича, Независимости, Уручье, Радиальная, Корженевского. Для пригородных показаний температуры воздуха были использованы данные метеостанций Аэропорта М-2 и пос. Самохваловичи. Данные ДИС были использованы для станций Цна, Кунцешина, Чижовка (все в районе МКАД), пос. Хатежино, пос. Слобода, пос. Привольный, пос. Раубичи и Горошки. Пригородные точки были использованы с целью лучшей интерполяции границ города. Все сырые данные с АМС или ДИС имеют дискретность в 10 минут. Поэтому был разработан алгоритм обработки данных температуры воздуха в среднемесячные значения в программе Python. В итоге были получены данные температуры воздуха для каждого месяца за 2 года. Итоговые карты температуры воздуха г. Минска строились в программе ГИС ArcGIS с использованием интерполяции сплайн.

Полученные итоговые данные представлены в таблице 1 и рисунках 1 и 2. Учитывая то, что данные станций имеют несколько особенностей территориального размещения, то распределение температуры воздуха может не соответствовать привычному пониманию характера изменения температуры воздуха, например, по данным спутника или микроклимата отдельных зон города. Все ДИСы установлены на дорожных трассах, где тепловой нагрев больший по отношению к прилегающим территориям. Некоторые АМС установлены на территории промышленных зон, такие как АМС на ул. Корженевского, ул. Радиальная и ул. Тимирязева, а некоторые в частном секторе как АМС на ул. Богдановича, или в продуваемом месте, как АМС на ул. Бобруйская. В связи с этим могут выделяться микроклиматические характеристики зон расположения АМС. Поэтому и рассматриваются среднемесячные значения температуры воздуха, чтобы максимально нивелировать микромасштабную, внутримассовую атмосферную, суточную флуктуацию выбранной переменной величины. Таким образом, все зависит от подстилающей поверхности в нашем случае (либо это асфальт, либо трава и деревья, либо промышленная зона). На рисунке 1 представлена многолетняя климатическая характеристика температуры воздуха для г. Минска за период 2020–2021 гг. Видно, что наибольшие значения (8,7–8,9 °С) температуры воздуха характерны для северо-западной и центральной и юго-восточной части города. Прохладные (7,1–7,4 °С) зоны наблюдаются на севере, северо-востоке и юго-западе. В целом, учитывая то, что интерполяция сплайн не фиксирует свойства поверхности города, данное распределение соответствует данным поверхностной температуры (LST) г. Минска по снимкам спутника Landsat-8 [5], где лесопарковым зонам соответствуют более низкие температуры, а городской застройке и промышленным зонам – более высокие значения.

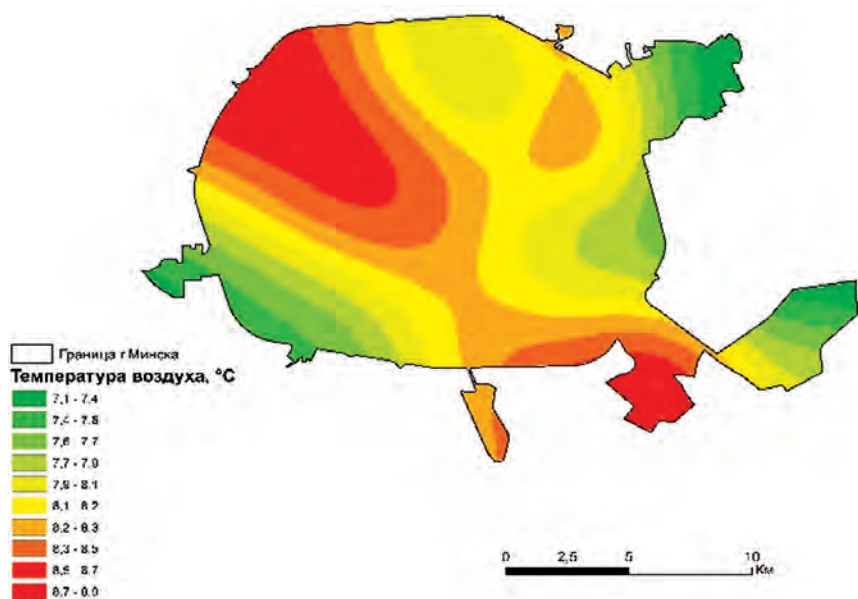


Рисунок 1 – Карта распределения средней температуры воздуха г. Минска за период 2020–2021 гг.

Таблица 1 – Средняя температура воздуха (°C) для АМС и ДИС в г. Минске и пригороде за период 2020–2021 гг.

АМС	Шаран- говича	Бобруй- ская	Корже- невского	Тимирия- зева	Богдано- вича	Незави- симости	Радиальная		Уручье	
Тср за 2020-2021, С	7,87	8,41	7,86	8,64	8,04	8,29	8,04		7,71	
Тср июнь	19,58	20,34	19,93	20,13	19,53	20,11	19,90		19,20	
Тср февраль	-2,50	-3,02	-2,55	-2,13	-2,75	-2,17	-2,45		-2,78	
ДИС	Цна	Чижев- ка	Кунцев- щина	Хатежи- но	Слобода	Раубичи	Приволь- ный	Горошки	Аэропорт М2	Самохва- ловичи
Тср за 2020-2021	8,24	8,46	8,40	7,79	7,74	7,78	8,03	7,65	7,53	7,89
Тср июнь	19,10	19,82	20,37	18,72	18,90	19,37	19,00	18,72	18,80	19,45
Тср февраль	-2,46	-2,40	-2,45	-2,88	-2,74	-2,78	-2,68	-2,64	-2,95	-2,77

На рисунке 2 представлены карты распределения средней температуры воздуха для июля и февраля за доступный двухлетний период. Зимой практически для всех месяцев (декабрь, январь, февраль и март отчасти) характерна одинаковая пространственная картина. Наиболее теплые зоны – юго – восток, где основной промышленный центр города, и запад, где спальные районы и локальные промышленные зоны. Относительно прохладными зонами будут являться пойма р. Свислочь, лесопарковые зоны и большие водоемы. Летом (июнь, июль) большая часть города находится под влиянием максимальных температур – центр, юг, северо-запад и северо-восток. Наименее теплые зоны – окраины города или пригород. Зимой в пределах города амплитуда температур воздуха больше – до 5 °C, чем летом – до 1–1,5 °C. Но это данные среднемесячных многолетних показателей, где амплитуды температур малы. Если брать отдельные годы, то эти диапазоны увеличатся.

На рисунке 3 представлены кривые температур воздуха для различных АМС в пригороде и в городе. С южной стороны г. Минска это АМС в пос. Самохваловичи, с северо-западной – АМС в Аэропорт М-2, в центре города – АМС на ул. Бобруйская и ул. Независимости.

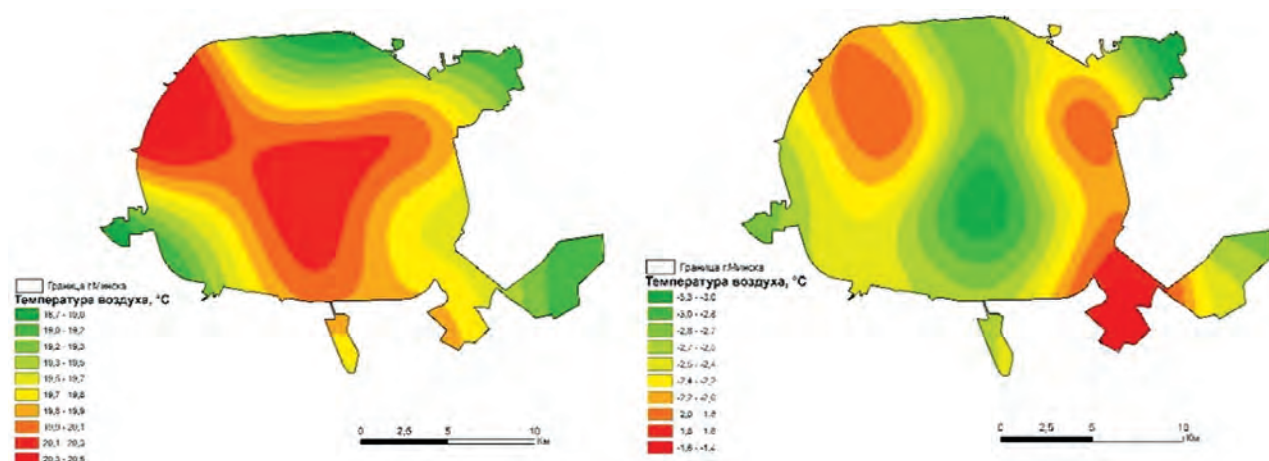


Рисунок 2 – Карта распределения средней температуры воздуха г. Минска для июня (слева) и февраля (справа) за период 2020–2021 гг.

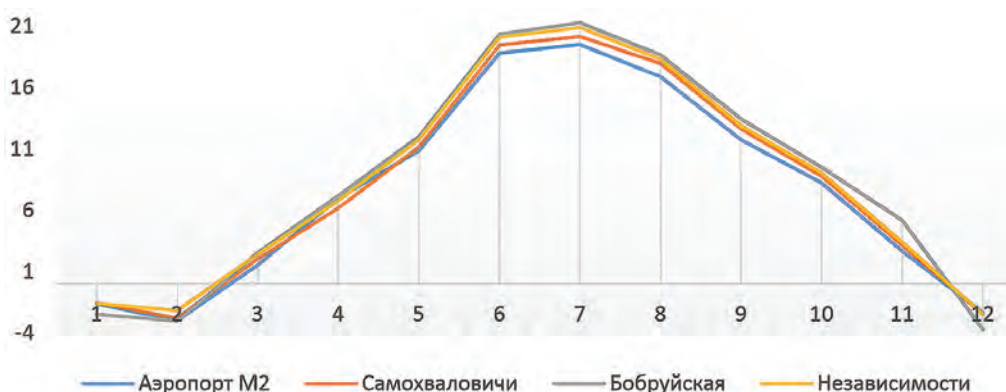


Рисунок 3 – График распределения среднемесячной температуры воздуха для АМС г. Минска и пригорода за период 2020–2021 гг.

Видно, что самая прохладная станция – это АМС в Аэропорте М-2, практически во все сезоны года там температура воздуха ниже всех остальных АМС, но отчетливо проявляется различие летом, где разница с АМС ул. Бобруйская почти на 2 °С в июле. Более теплая, за счет южной стороны пригорода, по сравнению с АМС в Аэропорте М-2 является АМС в пос. Самохваловичи, где разница с центром города составляет около 1,5 °С в июле. В зимний и весенний период амплитуда между пригородом и городом сокращается до 1 °С. Осенью – до 1–2 °С в зависимости от месяца.

В итоге, наиболее теплые районы г. Минска по данным АМС относительно схожи с данными спутниковых снимков поверхностной температуры, так как не учитывают свойства подстилающей поверхности. Теплые зоны – центр города и промышленные территории. Наименее теплые – север города, лесопарковые территории и водные объекты. Амплитуда разницы температуры воздуха пригорода и центра города достигает 2 °С летом, и 1 °С – зимой. Если сравнивать с исследованиями ГОТ г. Минска 70-х годов, то современные значения ГОТ выше примерно 0,5 °С. Это и логично, так как площадь и население г. Минска возросло за 50 лет. Можно утверждать, что данные АМС не вызывают полной уверенности в их качестве измерений, так как могут быть ошибочными. Но с другой стороны, при полном отсутствии данных температуры воздуха в городе, эти станции являются относительным показателем климата города Минска. Опираясь на международный опыт в исследованиях городского климата, можно утверждать, что такого рода данные тоже используются в исследованиях ГОТ. Таким образом, дальнейшие экспериментальные измерения температуры воздуха в городских условиях помогут повысить степень изученности данной проблемы в Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов, О.А., Васильев, В.А., Кобышева, Н.В., Раевский, А.Н., Смекалова, Л.К., Школьный, Е.П. Климатология. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
2. Ландсберг, Г.Е. Климат города. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 248 с.
3. Оке, Т. R. (1976). The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands.– Atmosphere, N 14, p.268–277.
4. Гольберг, М. А. Климат Минска / М. А. Гольберг. – Мн.: Выш. шк., 1976. – 288 с.
5. Шлендер, Т.В., Жуковская, Н.В., Бурченко, Г.Д., Прокопчик, Е.А., Чумаков, Е.А. Изучение теплового загрязнения г.Минска в летнее и зимнее время года по данным спутника Landsat-8. Сборник материалов 21 международной научной конференции «Сахаровские чтения 2021: экологические проблемы XXI века», Минск, Беларусь, 20–21 мая 2021, стр. 375–378

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ *LEMNA MINOR* L. К ГИПЕРАККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ STUDYING THE ABILITY OF *LEMNA MINOR* L. TO HYPERACCUMULATE OF HEAVY METALS

Ю. В. Жильцова^{1,2}, Б. Б. Меликов^{1,2}, А. В. Васильева^{1,2}
Y. V. Zhyltsova^{1,2}, B. B. Melikov^{1,2}, A. V. Vasilieva^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
gebeg@iseu.by, Zhyltsova@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе в результате проведенных экспериментов по культивированию растения *Lemna minor* в условиях различной степени загрязнения среды тяжёлыми металлами (Cu^{2+} и Zn^{2+}) проанализированы физиологические показатели: средняя удельная скорость (темп) роста, ингибирование темпа роста и уменьшение урожайности. Установлена максимальная концентрация цинка (0,16 мг/л), в которой способно существовать растение *L. minor*, перспективное с точки зрения использования его в фиторемедиации объектов окружающей среды. Максимальная концентрация меди, в которой способно существовать растение *L. minor*, не было достигнуто.

In the work, as a result of the experiments on the cultivation of the plant *Lemna minor* under conditions of varying degrees of environmental pollution with heavy metals (Cu^{2+} and Zn^{2+}), physiological indicators were

analyzed: the average specific growth rate, growth rate inhibition, and yield reduction. The maximum concentration of zinc (0.16 mg/l), in which the plant *L. minor* is able to exist, is promising from the point of view of its use in phytoremediation of environmental objects. The maximum concentration of copper, in which the plant *L. minor* is able to exist, has not been reached.

Ключевые слова: медь, цинк, культивирование растений, ряска малая, накопление тяжёлых металлов, биоремедиация, фиторемедиация.

Keywords: copper, zinc, plant cultivation, duckweed, accumulation of heavy metals, bioremediation, phytoremediation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-190-193>

Загрязнение тяжёлыми металлами – одна из актуальных проблем охраны окружающей среды в мире. Высшие водные растения обладают способностью накапливать различные загрязняющие вещества, в связи с чем растения-аккумуляторы и гипераккумуляторы используют в фиторемедиации почв и водных объектов. Растения ряски *L. minor* способны аккумулировать целый ряд химических элементов (Cr, Ti, Fe, Zn, Ni, Cu, Mn, Pb, Cd) более эффективно, чем многие другие пресноводные организмы [1, 2]. Несмотря на перспективность использования ряски *L. minor* в фиторемедиации объектов окружающей среды и большое количество исследований во всём мире [1, 2], остаются недостаточно изученными вопросы о максимальных концентрациях тяжёлых металлов, в которых растение *L. minor* способно существовать. В связи с этим, целью нашей работы являлось определить допустимую нагрузку тяжёлых металлов (на примере Cu^{2+} и Zn^{2+}) на *L. minor* в условиях модельных лабораторных систем.

В соответствии с данной целью были поставлены следующие задачи исследования:

- 1) Культивировать растения *L. minor* в условиях различной степени загрязнения среды тяжёлыми металлами.
- 2) Определить физиологические показатели растения *L. minor* в условиях различной степени загрязнения среды тяжёлыми металлами.

В августе 2021 года на Цнянском водохранилище (53.965 с.ш., 27.577 в.д.) были отобраны растения подсемейства Рясковые *Lemna minor* L.

Рясковые (*Lemnaceae*) являются водными, свободноплавающими растениями, обычно многолетние. Для рода *Lemna* характерно наличие листеца с 1 корешком, редко без него. У *Lemna minor* L. (Ряска малая) листецы округлые, яйцевидные, эллиптические, одиночные или соединённые небольшими группами, плавающие на поверхности. Обитает в стоячих и медленно текущих водах. Встречается часто и по всей территории Республики Беларусь [3].

Растения были доставлены в лабораторию физико-химических методов исследования МГЭИ им. А. Д. Сахарова.

Так как отобранные растения были загрязнены, то проводились процедуры по ликвидации загрязнения. Для удаления посторонних загрязняющих организмов применялась поверхностная стерилизация [4, с. 13], которая включала следующие этапы: 1. промывание в проточной воде; 2. погружение от 30 с до 5 мин в 0,5%-ный раствор гипохлорита натрия; 3. повторное промывание в дистиллированной воде; 4. помещение растений в питательную среду.

Культивирование растений проводилось согласно ГОСТ 32426-2013 [4]. Освещение производилось светодиодной лампой в диапазоне фотосинтеза (400–700 нм), температура в экспериментальных емкостях поддерживалась терморегулятором в диапазоне $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Для культивирования использовали модифицированную культивационную среду для выращивания ряски (Шведский институт стандартов, SIS) [4, с. 14], содержащую следующие химические вещества в соответствующих концентрациях: нитрат натрия NaNO_3 – 85 мг/л, калиевая соль ортофосфорной кислоты KH_2PO_4 – 13,4 мг/л, гептагидрат сульфата магния (магний сернокислый семиводный) $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 75 мг/л, кальций хлористый двухводный $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 36 мг/л, карбонат натрия Na_2CO_3 – 20 мг/л, кислота борная H_3BO_3 – 1 мг/л, хлорид марганца четырёхводный $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 0,2 мг/л, молибдат натрия двухводный $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,01 мг/л, сульфат цинка семиводный $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,05 мг/л, сульфат меди пятиводный $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 0,005 мг/л, нитрат кобальта шестиводный $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,01 мг/л, железа (III) хлорид гексагидрат $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,84 мг/л, динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты двухводная $\text{Na}_2 \cdot \text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 1,4 мг/л. Таким образом, готовая среда содержит следующие элементы в соответствующих концентрациях: Na – 32 мг/л, N – 14 мг/л, K – 6 мг/л, P – 2,4 мг/л, Mg – 7,4 мг/л, S – 9,8 мг/л, Ca – 9,8 мг/л, Cl – 17,5 мг/л, C – 2,3 мг/л, B – 0,17 мг/л, Mn – 0,056 мг/л, Mo – 0,004 мг/л, Zn – 0,011 мг/л, Cu – 0,0013 мг/л, Co – 0,002 мг/л, Fe – 0,17 мг/л.

До начала проведения эксперимента растения *Lemna minor* L., содержались в культивационной среде более 8 недель, что соответствует требованиям методики, и в течение которых был достигнут необходимый удельный темп роста растений ($0,275 \text{ день}^{-1}$) [4, с. 3].

Известно, что предельно допустимые концентрации меди и цинка в воде поверхностных водных объектов определяются по природному фоновому содержанию. Так, для водотоков Республики Беларусь природное фоновое содержание меди в воде составляет от 0,0038 мг/л до 0,0045 мг/л, а для водоёмов – 0,0035 мг/л. Фоновое содержание цинка в воде составляет от 0,012 мг/л до 0,016 мг/л в водотоках и 0,010 мг/л в водоёмах Республики Беларусь [5]. Приведённые фоновые концентрации цинка сравнимы с концентрацией цинка в используемой модифицированной культивационной среде для выращивания ряски, а концентрации меди в 2,7 раз выше. Согласно [4, с.5], в эксперименте использовали не менее 5 концентраций, взятых в геометрической прогрессии с фактором

разведения между тестовыми концентрациями не выше 3,2. Поэтому для определения допустимых нагрузок тяжёлых металлов на *L. minor* растения культивировали в условиях модельных лабораторных систем в водной среде со следующими концентрациями металлов: Cu^{2+} 0,002 мг/л; 0,004 мг/л; 0,008 мг/л; 0,016 мг/л; 0,032 мг/л и 0,064 мг/л; Zn^{2+} 0,02 мг/л; 0,04 мг/л; 0,08 мг/л; 0,16 мг/л; 0,32 мг/л и 0,64 мг/л. Таким образом, видно, что значения концентраций меди в воде 0,004 мг/л и 0,002 мг/л были на уровне ПДК и ниже в 2 раза соответственно, остальные – выше ПДК. Значения концентраций цинка в воде культивационной среды сравнимы с фоновым содержанием цинка в воде водоёмов. Выбранные экспериментальные концентрации – в 2, 4, 8, 16, 32 и 64 раза выше.

Растения культивировали в течение 7 дней в четырёхкратной повторности. По истечении этого времени проводилась оценка среднего удельного темпа роста, ингибирование темпа роста и уменьшение урожайности *Lemna minor* L. Рост растений в загрязнённой культивационной среде сравнивали с контролем – рост *Lemna minor* L. в культивационной среде без добавления ионов металлов в аналогичных условиях.

Среднюю удельную скорость (темп) роста рассчитывали в виде логарифмического увеличения количества пластинок *Lemna minor* L. в течение 7 суток воздействия загрязнителя (ионов тяжёлых металлов Cu^{2+} и Zn^{2+}) – с помощью формулы (1) для каждой параллели опытных и контрольной групп:

$$\mu_{i-j} = \frac{\ln(N_j) - \ln(N_i)}{t}, \quad (1)$$

где μ_{i-j} – средняя удельная скорость роста растения *Lemna minor* L. за 7 дней проведения эксперимента, день⁻¹;

N_j – количество пластинок *Lemna minor* L. в тесте или в контрольном сосуде на 7-е сутки;

N_i – количество пластинок *Lemna minor* L. или живой вес *Lemna minor* L. в тесте или в контрольном сосуде в начале эксперимента;

t – период времени, здесь 7 дней.

Вычисление ингибирования темпа роста $\%I_r$ осуществлялось по формуле:

$$\%I_r = \frac{(\mu_k - \mu_c)}{\mu_c} \cdot 100, \quad (2)$$

где $\%I_r$ – процент ингибирования среднего темпа роста;

μ_c – средняя удельная скорость роста *Lemna minor* L. в группе тестируемой концентрации,

μ_k – средняя удельная скорость роста *Lemna minor* L. в группе контроля,

Влияние на урожайность определяли по следующей формуле:

$$\%I_y = \frac{N_k - N_c}{N_k} \cdot 100, \quad (3)$$

где $\%I_y$ – уменьшение урожайности *Lemna minor* L., %;

N_k – количество пластинок *Lemna minor* L. в контрольном сосуде в конце периода воздействия загрязнителя;

N_c – количество пластинок *Lemna minor* L. в тесте в конце периода воздействия загрязнителя.

Полученные результаты проведённых экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средняя удельная скорость (темп) роста, ингибирование темпа роста и уменьшение урожайности *Lemna minor* L. при воздействии различных концентраций металлов, $p=0,95$

Показатель, %	Концентрация Cu^{2+} , мг/л (ПДК [0,0035 мг/л – 0,0045 мг/л])						
	Контроль 0,0013 мг/л	0,002	0,004	0,008	0,016	0,032	0,064
Средняя удельная скорость роста, день ⁻¹	0,275 ± 0,022	0,248 ± 0,028	0,241 ± 0,015	0,243 ± 0,015	0,234 ± 0,022	0,224 ± 0,035	0,225 ± 0,017
Ингибирование темпа роста, %	-	11,3 ± 13,2	14,3 ± 7,2	13,4 ± 7,1	17,9 ± 11,4	23,8 ± 8,7	22,2 ± 9,5
Уменьшение урожайности, %	-	21,6 ± 14,7	27,2 ± 13,4	25,5 ± 13,3	33,9 ± 2,9	44,5 ± 4,1	41,9 ± 3,3
Показатель, %	Концентрация Zn^{2+} , мг/л (ПДК [0,010 мг/л – 0,016 мг/л])						
	Контроль 0,011 мг/л	0,02	0,04	0,08	0,16	0,32	0,64
Средняя удельная скорость роста, день ⁻¹	0,275 ± 0,022	0,233 ± 0,025	0,229 ± 0,018	0,229 ± 0,020	0,219 ± 0,021	0,210 ± 0,024	0,198 ± 0,019
Ингибирование темпа роста, %	-	17,8 ± 2,2	21,0 ± 5,3	20,4 ± 9,8	26,2 ± 2,2	31,4 ± 11,4	39,3 ± 12,1
Уменьшение урожайности, %	-	33,7 ± 4,0	39,4 ± 8,2	38,4 ± 8,3	48,9 ± 9,7	58,2 ± 10,0	71,9 ± 10,4

Таким образом, выяснено, что все исследованные концентрации вызывали значимый ($p=0,95$) эффект ингибирования темпов роста *Lemna minor* L. в сравнении с контролем. Уменьшение средней удельной скорости роста растений в случае воздействия ионами меди происходит на уровне предельно допустимых концентраций и ниже (0,002 мг/л и 0,004 мг/л), что говорит о высокой чувствительности растений *Lemna minor* L. к содержанию ионов меди в воде.

При концентрации цинка 0,16 мг/л и выше наблюдается уменьшение урожайности ряски в 2 раза и выше. Кроме того, у растений, культивированных в воде с добавлением цинка в концентрациях 0,16 мг/л, 0,32 мг/л и 0,64 мг/л наблюдалось обесцвечивание молодых пластинок. Следовательно, нами предлагается рассматривать концентрацию цинка в воде 0,16 мг/л как максимальную концентрацию цинка, в которой способно существовать растение *L. minor*, перспективное с точки зрения использования его в фиторемедиации объектов окружающей среды.

При культивировании *Lemna minor* L. в водной среде с различными концентрациями меди не наблюдалось видимых признаков изменения окраски молодых пластинок растений. Максимальное уменьшение урожайности и ингибирование темпа роста изменялось в пределах $44,5 \pm 4,1$ % и $23,8 \pm 8,7$ % соответственно. Максимальная концентрация меди, в которой способно существовать растение *L. minor* не было достигнуто. Для решения данной задачи требуется проведение дальнейших экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Combination of aquatic species and safeners improves the remediation of copper polluted water / I. Panfili [et al.] // The Science of the Total Environment – 2017. – Vol. 601–602. – P. 1263–1270.
2. Ольшевская, Л.Н. Извлечение металлов из вод фитосорбентом ряски малой (*Lemna minor*) / Л.Н. Ольшевская, Н.А. Собгайда // Техногенная и природная безопасность: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 20–21 апреля 2017 г. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. – 2017. – С. 77–80.
3. Парфенов В. И. Определитель высших растений Беларуси / В.И. Парфенов. – 1999. – С. 471.
4. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста : ГОСТ 32426-2013 ; введ. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 05.11.2013 № 61-П) – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2013. – 20 с.
5. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30.03.2015 № 13 ; Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь : 25.04.2015, 8/29808. – 17 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРАСОЧНОГО ПОЛИМОРФИЗМА СИНАНТРОПНОГО СИЗОГО ГОЛУБЯ (*Columba livia* L.) В Г. МИНСКЕ

CURRENT STATUS OF PAINTING POLYMORPHISM THE SYNANTHROPIC ROCK DOVE (*Columba livia* L.) IN THE CITY OF MINSK

И. М. Хандогий^{1,2}

I. Khandohiy^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
gebeg@iseu.by, handogiy@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматриваются особенности окрасочного полиморфизма сизого голубя в условиях разнотипных городских ландшафтов разных административных центров г. Минска. Анализ экологии синантропного сизого голубя урбанизированных территорий столицы позволил выявить пространственную структуру по отношению к жилищным городским кварталам, зависящей от этажности жилой и времени жилой застройки, а также ярко выраженное доминирование черно-чеканной морфы. Делается вывод, что в городе Минске представлены основные окрасочные морфы сизого голубя. Отмечено абсолютное доминирование темноокрашенных особей (черно-чеканные – 65 %, черные – 5 %), далее по убыванию номинальная сизая окраска – 30 %, коричневые – 5 % и пегие – 6 % учтенных особей. Выявлено абсолютное преобладание во всех административных районах черно-чеканных особей, которые максимально представлены в Заводском и Фрунзенском районах – 71 и 69 % соответственно.

The article discusses the features of the color polymorphism of the rock dove in the conditions of diverse urban landscapes of different administrative centers of Minsk. An analysis of the ecology of the synanthropic rock dove in the urbanized areas of the capital made it possible to reveal the spatial structure in relation to residential urban areas, depending on the number of storeys of the residential area and the time of residential development, as well as the pronounced dominance of the black-chased morph. It is concluded that the main coloring morphs of the rock dove are represented in the city of Minsk. The absolute dominance of dark-colored individuals was noted (black-chased – 65 %, black – 5 %), then in descending order the nominal gray color – 30 %, brown – 5 % and piebald – 6 % of the registered individuals. The absolute predominance of black-chased individuals was revealed in all administrative districts, which are maximally represented in Zavodskoy and Frunzensky districts – 71 and 69 %, respectively.

Ключевые слова: сизый голубь, синантропный вид, окрасочный полиморфизм, морфотип, морфа, биоиндикация, биомониторинг.

Keywords: rock dove, synanthropic species, color polymorphism, morphotype, morph, bioindication, biomonitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-193-197>

Введение. Вовлеченные в глобальный процесс антропогенного преобразования экосистем, птицы, как их составные, неизбежно вступают в процессы синантропизации и урбанизации, приобретая ряд особенностей. Урбанизация – это синантропизация в условиях города, т.е. процесс проникновения птиц из естественных ландшафтов в городской и приспособление их к обитанию в нем [1]. Синантропный вид – это вид, который может жить по соседству с человеком. Приспособление птиц к жизни в антропогенных ландшафтах – проблема общебиологическая [2]. Наиболее эффективное использование ресурсов, приводящее к увеличению численности вида, требует медленного изменения поведения и деталей экологии.

Детальным изучением окраса оперения сизого голубя занимались многие российские орнитологи [3, 4, 5, 6, 7, 8] и др. Исходный тип окраса сохраняется лишь в «диких» популяциях, а в окрасе оперения синантропного сизого голубя наблюдается полиморфизм. Среди причин дестабилизации норм окраски сизого голубя называют скрещивание с домашними породами, скрещивание *Columba livia* и *Columba intermedia*, обитающего в Туркменистане, Индии и Цейлоне, изменения, вызванные особенностями питания и ненаправленной дестабилизацией онтогенеза в городской среде, следствие адаптации к антропогенной среде. Механизмом поддержания полиморфизма в природных популяциях является преимущество гетерокариотипов [2].

Количество меланизированных особей увеличивается с возрастанием степени урбанизации, общая для всех городов тенденция – усиление степени меланизации от окраин города к центру. Отмечено предпочтение гнездовыми партнерами особей своей окрасочной морфы при образовании пар.

Соотношение морф специфично для каждой конкретной популяции и может изменяться в разных колониях: крупные (взрослые) колонии имеют устоявшийся состав морфотипов, в них меньше «феумеланистов» и альбиносов [9].

По данным Ваничевой Л.К. [10], синантропные сизые голуби, как постоянные обитатели загрязненной среды, используются в целях биоиндикации и биомониторинга. Однако, в отличие от дикой формы, популяции синантропных голубей гетерогенны по цветовым морфам, и это дает основание для использования показателей гетерогенности в качестве маркеров состояния среды их обитания. Возникают вопросы, в какой мере эта неоднородность связана с воздействием факторов среды их обитания и какой отпечаток она накладывает на использование вида при мониторинге популяции.

Разнообразие форм в природе встречается у довольно большого числа видов животных, в том числе у синантропной формы сизого голубя. У голубей, обитающих в населенных пунктах, наблюдается полиморфизм по различным морфологическим признакам, особенностям питания и некоторым другим биологическим характеристикам, но наиболее резко выраженным является полиморфизм окраски. В «диких» природных популяциях полиморфизм, характерный для городских птиц, не сильно выражен. Именно этот факт требует более глубокого изучения явления полиморфизма. Является ли полиморфизм адаптивным признаком, и если да, то по отношению к каким именно факторам среды или скорее, это патология, которая проявляется только в специфических условиях города? Данная работа представляет попытку систематизировать имеющиеся данные по окрасочному полиморфизму сизого голубя (*Columba livia*) и оценить популяции птиц по данному признаку в рамках крупного мегаполиса – города Минска.

Цель исследования – установить основные закономерности пространственного распространения различных морф окрасочного полиморфизма синантропного сизого голубя в г. Минске в зависимости от особенностей городской застройки различных административных районов.

Материал и методика. Материалом для настоящей работы послужили собственные полевые исследования, проведенные в 2015-2022 гг. по изучению экологии и пространственного распространения сизого голубя на территории 9-ти административных районов г. Минска. Основные исследования проводились в экологических условиях городской среды обитания г. Минска, который включал городские кварталы городской застройки, парки, скверы и частные индивидуальные дома. Всего для этих исследований было подобрано 39 стационаров. Учет окрасочного полиморфизма сизого голубя проводился в соответствии с особенностями окраски анатомических

фрагментов оперенья. С этой целью в работе мы использовали методику выделения окрасочных морф голубей, описанную в работе российских орнитологов [5, 10], с некоторыми изменениями и дополнениями. Окрас оперенья определяли визуально на заложенных стационарах для учета численности, маршрутах и на отдельных группах популяций сизых синантропных голубей. Для регистрации окрасочных морф в выбранных точках наблюдений скопления птиц фотографировали, морфы высоко сидящих особей уточняли в бинокль. Морфы выделяли согласно классификации, предложенной Л.К. Ваничевой и А.С. Ксенц: сизые, черные, черно-чеканные, коричневые и пегие [3, 10]. Для привлечения голубей с целью более точного определения окрасочных морф голубей использовались подсолнечные семечки.

Некоторые исследователи всех синантропных голубей по признаку окраски оперенья подразделяют на три группы: сизые (с окраской дикого типа), чёрно-чеканные и «абберранты» (Ваничева, 1997). «Абберранты» обладают необычными и относительно редкими расцветками оперенья. Они похожи по окраске на голубей домашних пород. К «абберрантам» мы относили птиц красной, меланистической, пегой морф и особи с очень редко встречающимися вариантами окраски (прочие).

Изучение полиморфизма голубей проводилось пешком. Для более мобильного учета мест их массовых скоплений и плотности населения голубя сизого использовался общественный транспорт (метро) и велосипед. Навыки определения полиморфизма сизого голубя приобретались в городских условиях при проведении учетов численности и пространственного распределения голубя сизого в условиях городской среды обитания этих птиц. Полиморфизм населения сизого голубя изучались нами круглогодично во все поры года – зима, весна, лето и осень. На основании полученных полевых данных делались расчеты динамики численности и полиморфизма.

Результаты. По нашим данным анализ численности различных морфотипов в различных административных районах г. Минска показал (табл. 1), что у синантропного сизого голубя четко выделяется наличие 5-ти морфотипов – коричневый, черный, пегий, сизый и черно-чеканный.

При сравнении средних значений показателей между морфами установлено, что численность коричневого морфотипа более неравномерно распределена по учетным площадкам г. Минска, чем другие морфотипы. Таким образом, достоверность морфотипов синантропного сизого голубя не выявлена.

Общеизвестно, что коэффициент вариации характеризует изменчивость признака. Чем меньше коэффициент вариации, тем менее изменчив признак. В однородном биологическом материале коэффициент вариации чаще всего бывает 5-10%.

Проведенный анализ отличительных особенностей морфотипов по 9-ти административных районах г. Минска показал следующую картину.

В Первомайском административном районе доминирующей окрасочной морфой является черно-чеканная – $72 \pm 41,5\%$, субдоминантной – сизая – $35 \pm 16,7\%$. Все остальные морфы – коричневая, пегая и черная незначительны и составляют $8 \pm 4,7, 6 \pm 3,0$ и $5 \pm 3,0\%$ соответственно.

Таблица 1 – Численность различных морфотипов сизого голубя в различных административных районах г. Минска

Морфотип	N Число пробных площадок	Численность на пробной площадке			с.в.,%
		Средняя $\pm s.d$	минимальная	максимальная	
Коричневый	190	$5 \pm 4,8$	31	279	103,9
Меланисты	190	$5 \pm 4,2$	43	225	84,3
Пегий	190	$5 \pm 4,2$	43	225	84,5
Сизый	190	$6 \pm 4,8$	58	235	82,0
Черно-чеканный	190	$30 \pm 22,2$	22	700	75,1
	190	$65 \pm 55,7$	26	470	85,7

* *s.d.* – стандартное отклонение, *с.в.* – коэффициент вариации.

В данном случае, можно сделать вывод, что распределение голубей сизого и пегого морфотипов в Первомайском районе более однородно по сравнению с другими морфотипами, коэффициенты вариации которых имеют близкое значение (57,6–60,0 %).

В Центральном районе выделяется неравномерным распределением в особенности коричневый морфотип, а также меланисты. Как видно из табл.2, доминирующей морфой в этом административном районе является черно-чеканная – $67 \pm 33,7\%$. Примерно в три раза меньше сизой морфы – $25 \pm 13,2\%$. Доля остальных морф – коричневой, пегой и меланистов колеблется от $4 \pm 3,0\%$ до $7 \pm 4,0$ и $7 \pm 4,4\%$ соответственно.

Для Советского района большей величиной агрегации отличается черно-чеканный морфотип и меланисты. Для других морфотипов характерно более равномерное распределение (коэффициенты вариации находятся в пределах 45,4–52,9 %).

В Заводском районе наименее агрегированные скопления характерны для сизого и коричневого морфотипов.

Фрунзенский район отличается от других крайне неравномерным распределением всех морфотипов диких голубей, где особо выделяется коричневая морфа (коэффициент вариации равен 146,9 %).

Сравнительный анализ окрасочного полиморфизма сизого голубя в административных районах г. Минска показал, что по величине коэффициентов вариации общее распределение всех морфотипов голубей в Первомайском и Центральном районах относительно равномерно. Советский район занимает промежуточное положение. Неравномерное распределение наблюдается в Заводском районе, а также во Фрунзенском с образованием отдельных громоздких скоплений дикого голубя.

Сравнительно с другими морфотипами сизый морфотип имеет более равномерное распределение во всех районах г. Минска за исключением Фрунзенского района.

Как видно из табл. 2, максимальное количество голубей черно-чеканной формы зафиксировано во всех районах Минска. Второе место по численности занимает сизый морфотип. Величины их численности статистически достоверно отличаются. Меньшее количество голубей характерно для коричневого, пегого морфотипов и меланистов. Их численно статистически значимо отличается от черно-чеканного и сизого морфотипов.

Внутри каждого районов наблюдается такое же соотношение численности морфотипов.

Таблица 2 – Общая численность морфотипов сизого голубя в административных районах г. Минска

Район	N Число пробных площадок	n количество экземпляров	Численность на пробной площадке			с.в.,%
			Средняя $\pm s.d$	минимальная	максимальная	
Первомайский	34	588	125 $\pm$ 61,4	31	279	48,7
Центральный	23	502	109 $\pm$ 51,5	43	225	47,3
Советский	9	289	178 $\pm$ 98,6	58	235	55,4
Заводской	21	468	166 $\pm$ 172,4	22	700	105,4
Фрунзенский	91	1244	90 $\pm$ 84,1	26	470	93,8
Ленинский	4	134	147 $\pm$ 49,6	87	190	33,6
Московский	4	97	67 $\pm$ 32,9	18	86	48,9
Октябрьский	4	126	69 $\pm$ 14,6	49	84	21,2
г. Минск	190	3448	111 $\pm$ 94,2	18	700	84,5

* *s.d.* – стандартное отклонение, *с.в.* – коэффициент вариации.

В Первомайском районе среди трех морфотипов с низкой численностью статистически достоверно выше численность коричневого морфотипа.

В Советском районе численность данных морфотипов статистически не различается.

В Центральном районе коричневый морфотип имеет самую низкую численность (его величина достоверно отличается от пегого морфотипа и меланистов).

В Заводском районе среди этих трех морфотипов достоверно выше численность пегой морфы.

В Фрунзенском районе также самая низкая численность характерно для коричневого, пегого морфотипов и меланистов. Величина их численности имеет близкие значения и достоверно не различается.

Вывод. Таким образом, в городе Минске представлены основные окрасочные морфы сизого голубя. Отмечено абсолютное доминирование темноокрашенных особей (черно-чеканные – 65 %, черные – 5 %), далее по убыванию номинальная сизая окраска – 30 %, коричневые – 5 % и пегие – 6 % учтенных особей. Выявлено абсолютное преобладание во всех административных районах черно-чеканных особей, которые максимально представлены в Заводском и Фрунзенском районах – 71 и 69 % соответственно. Сизая морфа представлена во всех районах, максимально в Первомайском – 35 %, минимально в Заводском – 27%. Коричневая морфа встречается минимально во всех административных районах (3–7 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аринина, А.В. Адаптивные особенности сизого голубя (*Columba livia* L.) в условиях урбанизированной среды: на примере города Казани / А.В. Аринина: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 – экология. – Казань, 2007. – 20 с.
2. Рахимов, И.И. Преадаптации сизого голубя к заселению урбанизированной среды / И.И. Рахимов, А.В. Аринина // Экологический вестник Чувашской республики: мат-лы Всероссийской науч.-практ. конф. «Изучение птиц Волжско-Камского края» 24-26 марта 2007 г., Чебоксары Чувашской республики. – Чебоксары, 2007. – С. 283–285.
3. Ксенц, А.С. Структура полиморфных популяций сизого голубя и вопросы его эстетико - хозяйственного значения / А.С. Ксенц: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.08 – зоология. – Томск, 1982. – 22 с.
4. Москвитин, С.С. О различии основных окрасочных морф синантропных *Columba livia* Gm. по ряду эстетических и интерьерных характеристик / С.С. Москвитин, А.С. Ксенц // Экология. – № 5. – 1982. – С. 72–73.
5. Обухова, Н.Ю. Изменчивость окраски в городских популяциях сизых голубей (*Columba livia*). Возможные механизмы поддержания полиморфизма / Н.Ю. Обухова, А.Г. Креславский // Зоологический журнал. – М.: Наука, 1985. – Том 64. – № 11. – С. 1685–1694.

6. Пономарев, В.А. Особенности окраски сизых голубей в урбанизированных популяциях / В.А. Пономарев // Природа и человек. Антропогенное воздействие на окружающую среду: IV научн.- практ. конф. 23–24 нояб. 2005 г. – Иваново, 2005. – С. 68–70.
7. Салимов, Р.М. Окрасочный полиморфизм синантропных сизых голубей Урала и сопредельных территорий / Р. М. Салимов: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.10.08 – зоология. – Екатеринбург, 2008. – 21 с.
8. Obukhova, N.Y. Geographic Variation of Color in the Synanthropic Blue Rock Pigeon / N.Y. Obukhova // Russian Journal of Genetics. – М.: Maik Nauka/Interperiodica Publishing (Russian Federation), 2001. – Том 31. – № 6. – Р. 649–658.
9. Хандогий, И.М. Особенности окрасочного полиморфизма сизого голубя (*Columba livia*) в районных административных центрах Минской области / И.М. Хандогий // XVI Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии» (22-24 сентября 2021 года, г. Гродно). – Гродно: ГрГУ, 2021. – С. 345–347.
10. Ваничева, Л.К. Синантропные популяции сизых голубей и их использование при мониторинге тяжелых металлов промышленных центров Западной Сибири / Л.К. Ваничева: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.08 – зоология. – Новосибирск, 1997. – 19 с.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЭКОЛОГИЯ ПТИЦ ПАРКОВЫХ ЗОН Г. МИНСКА BIODIVERSITY AND ECOLOGY OF BIRDS IN THE PARK ZONES OF MINSK

**А. В. Хандогий^{1,2}, Е. К. Свистун^{1,2}, И. В. Губич⁴, В. В. Гнилозуб⁴,
Н. А. Анищенко⁴, А. Д. Петкевич⁴, А. А. Неверко⁴, М. П. Шачонок³, А. А. Грачок³,
И. Д. Василевский³, П. А. Требеко³, Д. И. Запотьлок^{1,2}, М. А. Богачева^{1,2}
A. V. Khandogiy^{1,2}, E. K. Svistun^{1,2}, I. V. Gubich⁴, V. V. Rottooth⁴, N. A. Anishchenko⁴,
A. D. Petkevich⁴, A. A. Neverko⁴, M. P. Shachonok³, A. A. Grachok³, I. D. Vasilevsky³,
P. A. Trebeko³, D. I. Zapotylok^{1,2}, M. A. Bogacheva^{1,2}**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

handogiy@mail.ru; svistyn.alena@yandex.by; potolok.d@mail.ru; net7749@mail.ru

³Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка, г. Минск, Республика Беларусь

m.shachi@mail.ru; anteges@yandex.by; vasilevskiy@mail.ru; trubeko04@mail.ru

⁴Государственное учреждение образования «Средняя школа № 196 г. Минска», г. Минск, Республика Беларусь

igor-1995-1@mail.ru; alublumajnkraft66@gmail.com; petkevich.alinka@gmail.com; gnizozubvalera1@gmail.com; mr.nikitanikita83@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

³Belarusian State Pedagogical University M. Tanka, Minsk, Republic of Belarus

⁴State Educational Institution "Secondary School No. 196 in Minsk" Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматриваются особенности экологии птиц в парках г. Минска. Определена территориальная неоднородность количественных показателей населения птиц. Выявлены факторы, угрожающие птицам в урбанизированной местности. Предлагаются меры по сохранению видового разнообразия орнитофауны и улучшению экологических условий местообитаний в парках столицы, такие как создание специальных зон отдыха людей на окраинах парковых территорий, сохранение древесных пород, посадка деревьев и кустарников, сохранение лесной подстилки, установка штучных гнездовий и кормушек, использование для ночного освещения более современных осветительных приборов, пропаганда охраны и сохранения орнитофауны, воспитание у граждан гуманного и бережного отношения к животному миру. Делается вывод, что сохранение биоразнообразия птиц должно решаться комплексно, в зависимости от экологической специфики того или иного вида птиц и конкретного парка.

The article discusses the features of the ecology of birds in the parks of Minsk. The territorial heterogeneity of quantitative indicators of the bird population was determined. Factors that threaten birds in urban areas have

been identified. Measures are proposed to preserve the species diversity of the avifauna and improve the ecological conditions of habitats in the parks of the capital, such as the creation of special recreation areas for people on the outskirts of park areas, conservation of tree species, planting trees and shrubs, conservation of forest litter, installation of artificial nests and feeders, use for night lighting more modern lighting fixtures, promoting the protection and conservation of the avifauna, educating citizens in a humane and caring attitude towards the animal world. It is concluded that the conservation of bird biodiversity should be addressed in a comprehensive manner, depending on the ecological specifics of a particular bird species and a particular park.

Ключевые слова: птицы, орнитофауна, орнитокомплексы, городские парки, численность, видовое разнообразие.

Keywords: birds, avifauna, ornithocomplexes, city parks, abundance, species diversity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-197-201>

Введение. Вовлеченные в глобальный процесс антропогенного преобразования экосистем, птицы, как их составные, неизбежно вступают в процессы синантропизации и урбанизации, приобретая ряд особенностей. Урбанизация – это синантропизация в условиях города, т.е. процесс проникновения птиц из естественных ландшафтов в городской и приспособление их к обитанию в нем [1]. Синантропный вид – это вид, который может жить по соседству с человеком. Приспособление птиц к жизни в антропогенных ландшафтах – проблема общебиологическая [2]. Наиболее эффективное использование ресурсов, приводящее к увеличению численности вида, требует медленного изменения поведения и деталей экологии.

Среди основных экологических проблем современности сокращение биологического разнообразия занимает особое место [3, 4]. Самыми многочисленными представителями дикой природы в городе являются птицы. Птицы быстро реагируют на изменение среды, что повышает оперативность оценки возможных изменений в экосистемах. Кроме того, птицы являются наглядным индикатором состояния окружающей среды, так как имеют значительное видовое разнообразие даже на урбанизированной территории, ведут открытый образ жизни и распространены повсеместно. Но стоит учитывать и негативные аспекты тесного соседства птиц с человеком, в частности, птицы могут выступать переносчиками паразитических членистоногих [5, сибирской язвы [6], птичьего гриппа [7], ряда других заболеваний, а также нарушать эстетический вид городских памятников и сооружений.

Изучение птиц городов стало одним из приоритетных направлений современных орнитологических исследований, а также эффективным индикатором для общей оценки экологических ситуаций в пределах урбанизированных территорий [8]. До настоящего времени эта проблема в Минске изучена недостаточно, что и послужило основанием для выбора темы настоящей работы.

Цель исследования – определение видового состава, сезонной динамики и условий обитания птиц в городских парках г. Минска, возможная регуляция их численности и видового разнообразия.

Материал и методика. Местом проведения исследований являлись 6 парков г. Минска: Ботанический сад и парк Челюскинцев (I), парк имени 50-летия Великого Октября (II), Дрозды (III), Лошицкий усадебно-парковый комплекс (IV), лесопарк «Медвежино» (V), памятник природы республиканского значения «Дубрава» (VI), орнитокомплексы которых изучались в 2017-2022 гг.

Изучение птиц проводилось при помощи бинокля, с кратностью 8х24 и современных полевых определителей. Для фотосъемки использовались сотовые телефоны различных модификаций. Основным методом поиска и учета видов птиц явился маршрутно-точечный. При посещении парков визуально оценивались доступные для обследования участки (точки) и закладывался маршрут между ними. Такие точки, как правило, имели хороший доступ. Учеты особей птиц проводились визуально как на маршруте, так и на точках. Парки посещались несколько раз в разные сезоны года. Измерение протяженности маршрутов проводилось по карте.

Учет проходил в утреннее, дневное и вечернее время. При определении абсолютной численности птиц мы проводили экстраполяцию усредненных показателей плотности населения на всю площадь местообитаний.

Расчеты биологического разнообразия птиц городских парков проводились по общеизвестным стандартным показателям – индексу сходства Жаккара, индексу Маргалефа (видовое богатство), индексу разнообразия Шеннона, индексу Симпсона (индекс доминирования) и др. [8].

Статистическую обработку результатов исследования проводили на персональном компьютере. Полученные данные статистически обработаны с помощью пакета Statistica 12.0 и ПО Microsoft Excel 2019 и методических приемов Г.Ф. Лакина.

Результаты. Анализ полученного материала по экологическому статусу показал, что все выявленные птицы (66 видов) относятся к гнездящимся птицам, при чем 30 видов гнездящиеся перелетные, 25 гнездящиеся оседлые и 11 видов гнездящиеся перелетные и в ограниченном количестве зимующие виды. Значительная часть гнездящихся птиц предпочитает для постройки гнезд кроны деревьев или дупла (28,8 % и 24,2 % соответственно) (рис. 1).

Доминирующими видами на всех исследуемых территориях являются лесные птицы (72 %), далее идут синантропные виды (16 %). Преобладание в городских парках лесных гнездящихся видов говорит о том, что для птиц здесь созданы благоприятные условия для обитания.

В качестве объектов питания 41 % видов птиц предпочитают насекомых (виды-энтомофаги), 17% питаются растительной пищей, 22% употребляют в качестве корма как беспозвоночных, так и растительную пищу, 14 % – эврифаги, 4% – хищники и 2 % питается как пищей растительного происхождения, так и животного [7].

Наиболее благоприятным местом для обитания птиц оказались парк Дрозды и Лошицкий усадебно-парковый комплекс, в которых плотность населения орнитофауны составляла 443,94 ос/км² и 362,58 ос/км² соответственно. Благоприятные условия обитания для птиц в этих парках подтверждает и высокий показатель индексов Шеннона (3,16 и 3,27) и Маргалефа (4,11 и 3,33), т.е. высокое видовое разнообразие и достаточно однородная численность, что подтверждается индексом Симпсона (18,81 и 23,02) и Бергере-Паркера (12,21 и 13,45). Менее привлекательным местом для обитания птиц служит парк имени 50-летия Великого Октября (83,02 ос/км²; самое малое видовое разнообразие).

По относительной численности птицы делятся на: очень редкие, известны по единичным встречам; редкие – единично и нерегулярно встречающиеся; малочисленные – в малом количестве регулярно встречающиеся; обычные виды; многочисленные виды – встречаются всегда и в большом количестве (рис. 2).

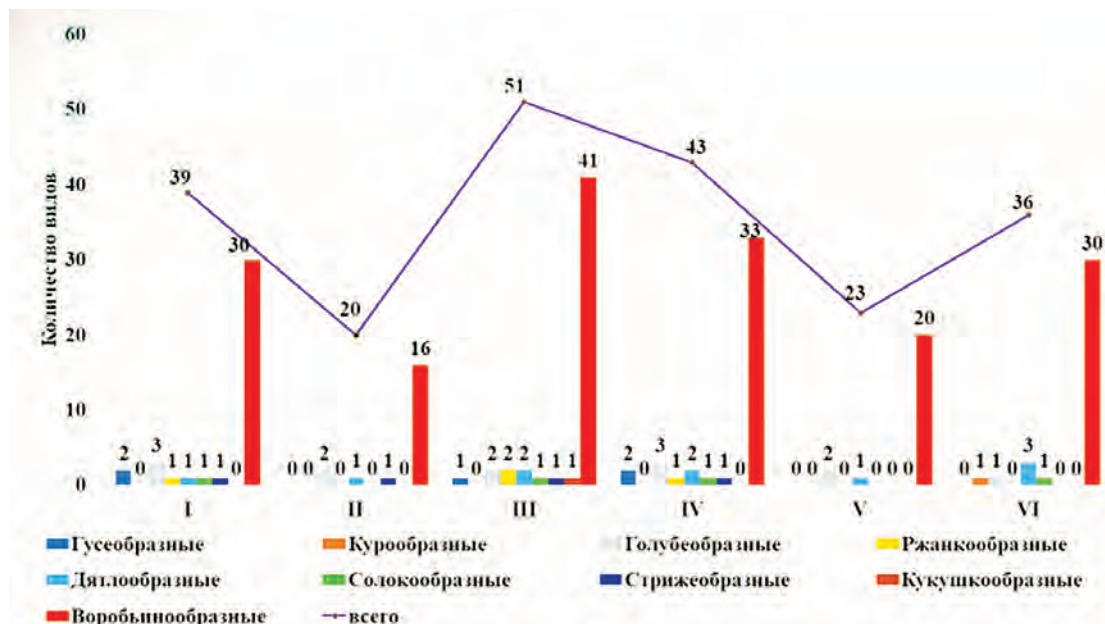


Рисунок 1 – Соотношение отрядов птиц парков г. Минска

В ходе изучения орнитофауны было выявлено, что на территориях парков преобладают виды с обычной относительной численностью (29 видов), т.е. есть эти виды всегда присутствуют в парках в достаточном количестве. Многочисленных выявлено 16 видов, малочисленных – 14 видов. Так же было зафиксировано 7 видов, относящихся к редким. Очень редких видов птиц не выявлено.

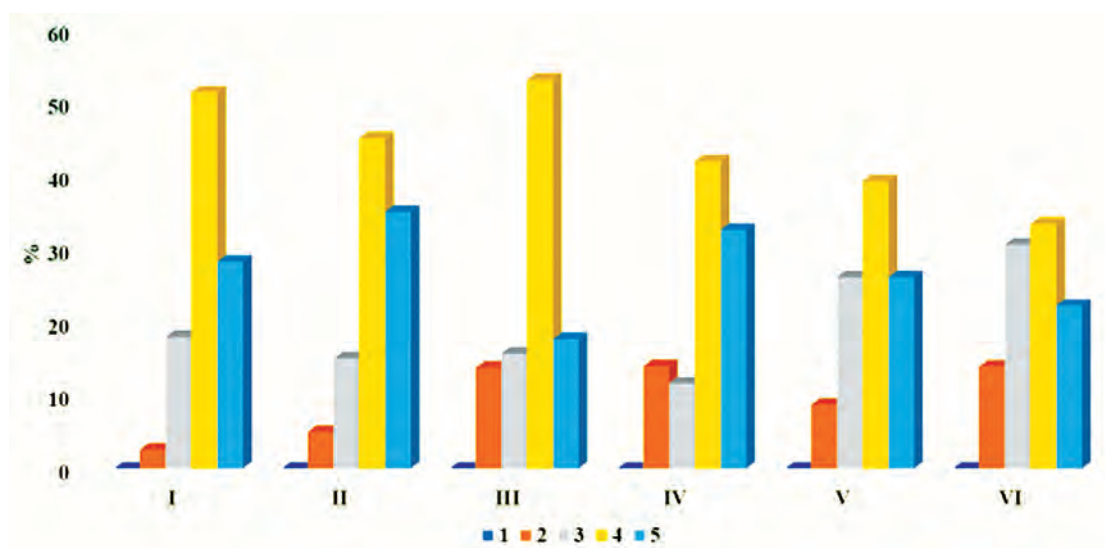


Рисунок 2 – Относительная численность птиц городских парков г. Минска

Суммарная плотность населения орнитофауны в парке Дрозды равна 443,94 особи/км². Это больше, чем в других парках, следовательно, на данной территории птицы нашли наиболее комфортные места обитания. Напротив, в парке 50-летия имени Великого Октября плотность составила 83,02 особи/км², что указывает на отсутствие условий окружающей среды для гнездования и поиска пищи птиц. Также лесопарк Медвежино имеет

не высокую плотность населения орнитофауны – 221,22 особи/км². Остальные парки имеют приблизительно равную плотность – около 360 особей/км². Это говорит о наличии в данных парках благоприятных условий для обитания птиц (рис. 3).

С учетом вышесказанного, выявлены факторы, угрожающие птицам в городе и предложены мероприятия по сохранению видового разнообразия, которые рекомендуется учитывать при разработке мер по поддержанию биологического разнообразия и коррекции орнитофауны парковых территорий большого города. К ним относятся: создание специальных зон отдыха людей на окраинах парковых территорий, сохранение древесных пород, посадка деревьев и кустарников, сохранение лесной подстилки, установка штучных гнездовий и кормушек, использование для ночного освещения более современных осветительных приборов, пропаганда охраны и сохранения орнитофауны, воспитание у граждан гуманного и бережного отношения к животному миру.

На основе собственных данных и разработанной методики, в настоящее время нами готовится программа «Старым паркам – новую жизнь», что позволит включить её в список исполняемых приоритетных программ ЮНЕСКО.

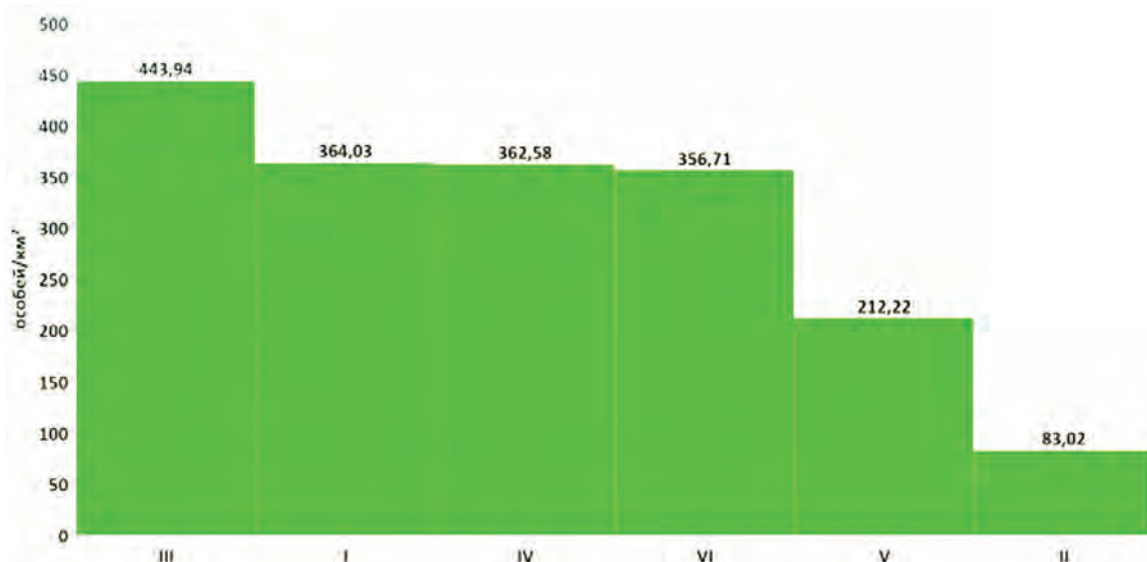


Рисунок 3 – Суммарная плотность населения птиц городских парков

Вывод. Таким образом, парки играют огромную роль в сохранении биоразнообразия птиц в городах, где естественных природных условий практически не осталось, так как парковые комплексы имеют условия приближенные к естественным и способствуют расселению лесных гнездящихся в кронах деревьев и дуплах видов птиц. В соответствии с этим, сохранение биоразнообразия птиц в городских парках должно решаться комплексно, в зависимости от экологической специфики конкретного парка. С практической точки зрения, проведенное исследование может быть полезно в работе коммунальных служб городов Беларуси, в регуляции численности и естественного ареала обитания птиц. Это, безусловно, поможет в регуляции сложившейся биосистемы города и обосновании способов регуляции оптимальной численности птиц. Полученные результаты также могут быть использованы при организации системы мониторинга состояния городской среды и мер по поддержанию биологического разнообразия и коррекции орнитофауны парковых территорий большого города.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамова, И.В.* Орнитокомплексы птиц отряда воробьинообразные в экосистемах разной степени антропогенной трансформации / И.В. Абрамова, В.Е. Гайдук // Сб. научных трудов биологического факультета. Серия: биология. – Брест, 1996. – Вып. 2. – С. 53–57.
2. *Гомель, К.В.* Оценка степени урбанизации водно-болотных птиц г. Минска / К.В. Гомель // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов. – Минск: Конфидо. – 2015. – № 2. – С. 100–104.
3. *Колонин, Г.В.* О роли птиц в эпизоотологии сибирской язвы / Г.В. Колонин // Русский орнитологический журнал. – Вып. № 1397. – 2017. – С. 327–329.
4. *Мурыгин, Н.В.* Особенности орнитокомплексов парковых зон города Минска в зависимости от разнообразия древесно-кустарниковой растительности / Н.В. Мурыгин, А.В. Хандогий // Международная научно-практическая конференция студентов «Модернизация профессиональной подготовки специалистов в области естественнонаучного образования» (26 апреля 2021 года, г. Минск). – Минск: БГПУ. – С. 112–114.
5. *Пашаев, В.Ш.* Роль птиц в расселении паразитических членистоногих в г. Махачкале и его окрестностях / В.Ш. Пашаев, М.А. Алиев, Ш.К. Алиев // Российский паразитологический журнал. – Вып. № 1. – 2010. – С. 125–136.

6. Русев, И.Т. Птицы как вероятный фактор заноса и распространения высокопатогенного птичьего гриппа H5N1 в условиях мегаполиса / И.Т. Русев, В.Д. Винник, Д.А. Соколовский // Вісник Дніпропетровського університету // Біологія, медицина. – Вып. № 3–1. – 2012. – С. 125–132.
7. Svistun, E. Seasonal changes in the composition of the avifauna of parks in Minsk / E. Svistun, N. Anishchanka, A. Khandohiy // Actual Environmental Problems, Minsk, 22–23 November, 2021. – Minsk. – P. 96.
8. Птицы на рубеже XXI века / М.Е. Никифоров [и др.]. – Минск: Изд. Королев, 1997. – 188 с.

**ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ СОРОКИ (*Pica pica* L.)
И ЕЕ МЕСТО В СТРУКТУРЕ НАСЕЛЕНИЯ ВРАНОВЫХ ПТИЦ Г. МИНСКА
FEATURES OF THE ECOLOGY OF THE MARPLE (*Pica pica* L.)
AND ITS PLACE IN THE STRUCTURE OF THE POPULATION OF RAVES IN MINSK**

**А. В. Хандогий^{1,2}, А. А. Зезюлькина⁴, М. А. Богачева^{1,2}, Н. М. Лещинская³,
Е. А. Борисенко³, Е. А. Гюнерич^{1,2}, А. А. Сорока³, А. А. Грачок³
A. V. Khandogiy^{1,2}, A. A. Zezyulkina⁴, M. A. Bogacheva^{1,2}, N. M. Leschinskaya³,
E. A. Borisenko³, E. A. Gyunerich^{1,2}, A. A. Soroka³, A. A. Grachok³**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
handogiy@mail.ru; net7749@mail.ru; egunerich@gmail.com

³Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,
г. Минск, Республика Беларусь

leshchinskaya_na@list.ru; anteges@yandex.by; anyutasoroka0510@icloud.com

⁴Государственное учреждение образования «Средняя школа № 127 г. Минска»,
г. Минск, Республика Беларусь
zezulkinaalina1@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

³State Pedagogical University named M. Tank, Republic of Belarus

⁴State Educational Establishment «Minsk secondary school No. 127», Republic of Belarus

В статье рассматриваются особенности экологии сороки в г. Минске по мере усиления антропогенной трансформации городских ландшафтов и ее роль в структуре популяции врановых. Изучены предпочтительные места гнездования и его пространственное распределение в столице Беларуси. Выявлены достоверные отличия плотности населения сороки в урболандшафтах г. Минска, коррелирующей со степенью антропогенной их трансформации и особенностями их жилой застройки. Предлагаются практические меры по регулированию численности сороки в местах их массовой концентрации. Делается вывод о том, что причиной активной синантропизации и увеличения численности сороки стало разрастание древесных насаждений в скверах и парках г. Минска. Определённую положительную роль сыграла и практика не подрезки старых деревьев. Совокупность всех этих факторов и привело к повышению численности сорок.

The article discusses the features of the ecology of the magpie in Minsk as the anthropogenic transformation of urban landscapes intensifies and its role in the structure of the corvid population. And studied the preferred nesting sites and its spatial distribution in the capital of Belarus. Significant differences in the population density of magpies in the urban landscapes of Minsk were revealed, which correlated with the degree of their anthropogenic transformation and the characteristics of their residential development. Practical measures are proposed to regulate the number of magpies in places of their mass concentration. It is concluded that the reason for the active synanthropization and increase in the number of magpies was the growth of tree plantations in the squares and parks of Minsk. The practice of not pruning old trees also played a certain positive role. The combination of all these factors led to an increase in the number of magpies.

Ключевые слова: сорока, врановые птицы, плотность населения, урбоценозы, урболандшафты, орнитокомплексы.

Keywords: magpie, corvids, population density, urban communities, urban landscapes, ornithocomplexes.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-201-204>

Введение. Сорока (*Pica pica* L.) является достаточно обычным и широко распространенным гнездящимся оседлым видом в Беларуси и одним из врановых птиц, успешно освоившим урбоценозы в урболандшафтах Республики Беларусь [1]. Исключительная пластичность, способность быстро реагировать и приспосабливаться к изменяющимся условиям среды, относительно высокая биоценотическая и хозяйственная значимость врановых птиц в естественных и антропогенных экосистемах способствовали им стать предметом повышенного внимания исследователей. Многочисленные публикации дают достаточно полную картину роли сороки и врановых птиц в различных природных комплексах. Птицы гасят вспышки роста численности вредных насекомых, регулируют численность мышевидных грызунов, способствуют расселению ряда растений. При определенных ситуациях они могут являться и нежелательным компонентом биоценозов, поедая часть урожая зерновых культур, разнося различные заболевания [2, 3]. Поэтому интерес человека к этому виду птиц возник неслучайно. В последние десятилетия происходит быстрый рост численности врановых в антропогенных ландшафтах, увеличивается их отрицательная роль в деятельности человека. Вследствие этого возникла необходимость изучения особенностей биологии данного вида [4].

Столица Беларуси, как арена изучения европейских врановых, является удобной в силу своего географического положения, особенностей физико-географических условий и видового разнообразия птиц этой группы. Многие процессы, происходящие в жизни этих птиц в связи с антропогенным изменением среды, здесь находятся на начальной стадии [1].

Изучение врановых птиц городов стало одним из приоритетных направлений современных орнитологических исследований, а также эффективным индикатором для общей оценки экологических ситуаций в пределах урбанизированных территорий. До настоящего времени проблема врановых птиц в Минске и роль сороки в их структуре изучена недостаточно, что и послужило основанием для выбора темы настоящей работы.

Цель исследования – выявить общие и видовые особенности экологии сороки среди врановых птиц в Минске по мере нарастания антропогенной трансформации урболандшафтов.

Материал и методика. Материалом по данной работе явились результаты собственных наблюдений и учетов численности сороки, проведенные нами в течение 3-х лет – с 2018 по 2021 г. Основной материал собран на 8 постоянных учетных маршрутах (стационарах), проложенных через типичные участки, в разной степени трансформированных человеком ландшафтов в ряду от слабоизмененных лесных территорий до полностью урбанизированных жилых кварталов мегаполиса. Маршруты составляли от 2 до 4 км с фиксированной шириной учетной полосы. При проведении учетов использовали общепринятые методики [5, 6], адаптируя их к конкретным условиям.

Определение врановых и самой сороки проводилось визуально. Изучение птиц проводилось при помощи бинокля, с кратностью 8х24 и современного полевого определителя. Визуальные отличительные особенности сороки, по сравнению с другими врановыми птицами, одни из самых распознаваемых [7]. Для фотосъемки использовали сотовые телефоны различных модификаций.

На предварительном этапе столица была зонирована – на карте выделялись участки разных антропогенно-преобразованных местообитаний (городские парки, зоны старой, многоэтажной и индивидуальной застройки, промышленные зоны и т.п.). После зонирования была разработана система учетных маршрутов и площадок таким образом, чтобы собрать данные о численности и размещении гнезд сороки во всех выделенных местообитаниях [6]. К сожалению, доступ на территорию заводов был запрещен, поэтому эти части областных центров остались не охваченной фронтальными учетами.

Статистическую обработку результатов исследования проводили на персональном компьютере. Полученные данные статистически обработаны с помощью пакета Statistica 12.0 и ПО Microsoft Excel 2019 и методических приемов Г.Ф. Лакина [7].

Результаты. Установлено, что непременной составляющей орнитокомплексов урбанизированных территорий стали врановые птицы, среди которых сорока занимает всего лишь скромное 4 место как в зимний период года, так и в летний (рис. 1).

Этот вид отмечен на гнездовании в слабо и сильноизмененных ландшафтах, в которых плотность её населения варьирует от $2,5 \pm 1,4$ до $10,5 \pm 3,8$ особей на 1 км² (табл. 1). В гнездовую фазу во всех исследуемых антропогенных ландшафтах характерна невысокая плотность населения сороки. Это связано с распределением образовавшихся пар с середины апреля на гнездовых и началом репродуктивного периода.

Минимальная плотность гнездового населения сороки характерна для отдельных лесных массивов (м-н Уручье), в то время как в отдельных микрорайонах Минска она может быть довольно высокой и достигать до $10,5 \pm 3,8$ особей на 1 км² (Лошицкий парк).

Довольно низкая плотность населения сороки и в глубине лесных массивов (м-н Уручье), которая держится на уровне $3,5 \pm 2,1$ особей на 1 км². На экотонных участках (в пригородных лесопарках) и кладбищенских территориях она может возрастать до $16,7 \pm 5,4$ особей на 1 км².

В центральных частях столицы её плотность очень низкая, в то время как в кварталах старой жилой постройки 60-70-х годов она возрастает до 3-х раз и может достигать $16,8 \pm 2,2$ особей на 1 км² и более. Особенно привлекательны для сороки в этот период жизненного цикла мусорные баки бытовых отходов, находящиеся в непосредственной близости от скверов и городских парков, что ранее было нами уже опубликовано [9].

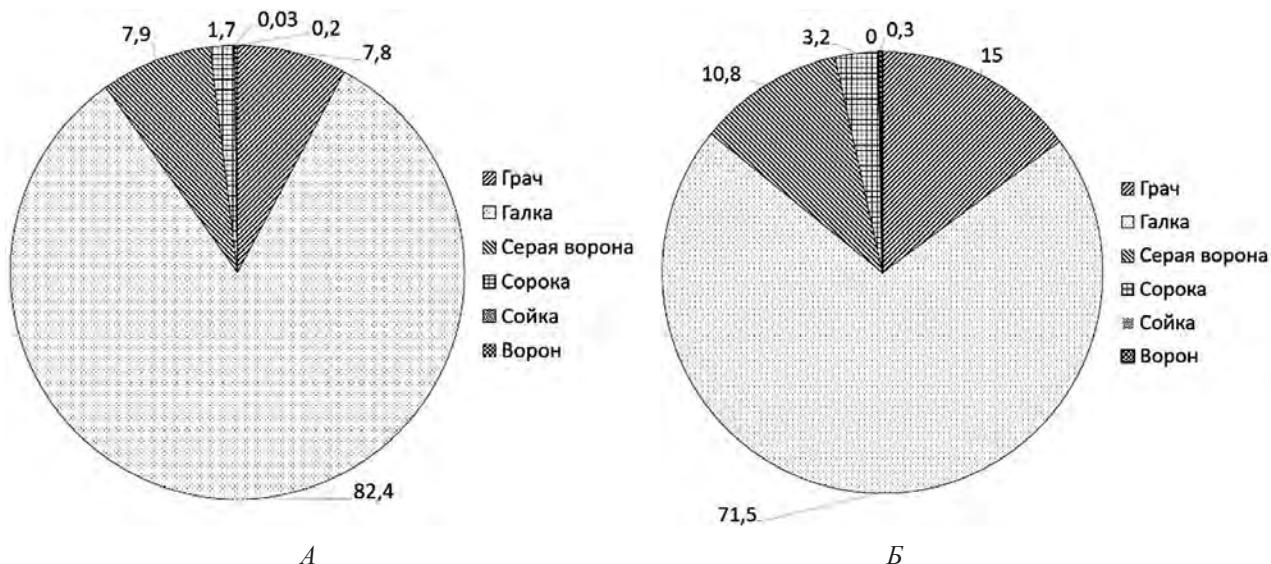


Рисунок 1 – Структура населения врановых птиц в г. Минске: А – зима; Б – лето

Таблица 1 – Плотность населения сороки в городских ландшафтах г. Минска

№ п/п	Стационар	Сезоны года			Зима
		Весна	Лето	Осень	
1.	Хвойный лес	3,5±2,1	4,2±1,5	5,5±2,1	0,9±0,6
2.	Каменная горка	10,1±3,8	12,3±5,2	33,4±5,7	39,7±7,5
3.	Урочье – 3	6,3±2,1	7,4±3,5	13,3±4,6	27,6±6,8
4.	Пр-т Пушкина (скверы)	16,8±2,2	8,3±2,1	10,3±5,1	45,3±9,7
5.	Скверы окрестностей Дома Молодежи	5,4±2,7	9,4±2,15	20,0±3,4	24,3±5,5
6.	Частный сектор (Медвежино)	2,5±1,4	3,4±0,7	4,6±2,0	5,6±1,9
7.	Люшицкий парк	10,5±3,8	15,4±3,8	14,5±5,4	7,4±2,8
8.	Скверы окрестностей (ж.д. вокзал)	0,9±0,5	1,2±0,7	3,4±1,5	5,3±2,7
Х ср.					8,9±3,4

* s.d. – стандартное отклонение, с.в. – коэффициент вариации

В зимний период в черте города Минска сорока – регулярно зимующий вид с плотностью населения в среднем $8,9 \pm 3,4$ особей на 1 км^2 и долей участия в населении врановых всего лишь 1,7 % (рис.1). В этот период года зависимость распределения сороки от типа антропогенного ландшафта наиболее четко проявляется. Зимой пространственное распределение сорок характеризуется повышенной агрегированностью и наличием регулярных суточных трофических кочевков в пределах разных административных районов урбанизированных ландшафтов столицы. С момента установления высокого снежного покрова, сорокам приходится мигрировать из окраин лесных массивов и стягиваться в окрестности города, в старые жилые постройки, которые изобилуют древесно-кустарниковой растительностью и доступными мусорными баками. Именно в этот период года наблюдается резкое повышение плотности населения сороки практически во всех частях городских ландшафтов.

Анализ полученного материала показал, что предпочитаемыми местами гнездования сороки в городе, в первую очередь, являются жилые застройки города 60–70 гг. постройки, со старыми скверами и парками, в которых плотность населения сороки достигает до $16,8 \pm 2,2$ на 1 км^2 . Привлекательны, но в меньшей степени, – многоэтажные городские жилые застройки 1990–2000 гг. В кварталах же новой городской застройки (2010–2020 гг.), как и в частном секторе, гнездование сороки – явление очень редкое по ряду причин, основными из которых являются благоприятная кормовая база и наличие удобных древесных насаждений для гнездования. И если в центре г. Москвы сороки не гнездятся, то в Минске, их гнездование отмечено В.В. Сахвоном [1] и нами [6]. С момента активного вылета птенцов из гнезд (конец мая, начало июня) плотность населения сороки на всех исследуемых стационарах возрастает примерно в 2–3 раза.

В целом, данный вид врановых довольно успешно адаптируется к городским территориям и проявляет в этом изобретательность в условиях Минска. К адаптационным способностям сорок к урбандошадтам можно отнести, в первую очередь, постройки гнезд на деревьях, не встречающихся в природных условиях. Существенным образом меняются и склонности сороки при выборе строительного материала при постройке гнезд, в состав которого могут входить следующие материалы: бумага, ветошь, нитки, вата, целлофан, проволока (лично сами

нашли!) и др. Сильно изменяется у этого вида врановых дистанция испугивания к человеку и техногенному шуму, о чем свидетельствуют постройки гнезд, находящиеся рядом с окнами школ, детских садов и вдоль автомобильных дорог. Наблюдаются также и более ранние сроки гнездования, выведения их потомства, повышения плодовитости вида. Особенно сильно у неё изменяются кормовые предпочтения и др.

На наш взгляд, причиной активной синантропизации и увеличения численности сороки стало разрастание древесных насаждений в скверах и парках г. Минска. Определённую положительную роль сыграла и практика не подрезки старых деревьев. Совокупность всех этих факторов и привело к повышению численности сорок, прежде всего, в центральных районах мегаполиса, особенно – в зимний период (табл. 1).

Результаты исследований применимы для мониторинга численности сороки, как отдельного вида, так и в целом для врановых. Увеличение зимующих сорок в урбандо ландшафтах Минска пополняет общее количество врановых в зимний период и может служить показателем изменения условий, типичных для данного вида. В то же время, они являются показателями санитарного состояния города и могут быть использованы как индикаторы в оценке экологических условий городских ландшафтов.

Вывод. Таким образом, выявленные черты современного состояния населения сороки в разных частях г. Минска соответствуют основным фазам динамики, связанным с фенологическими периодами её годового жизненного цикла и в целом отражают общие закономерности сезонной динамики численности врановых птиц. Несмотря на утверждения некоторых исследователей, что сорока не любит городов и чаще селится в сельских населённых пунктах [4], по нашим данным это совсем не отвечает действительности. В условиях Минска у городских популяций сорок гнездовая плотность в урбандо ландшафтах повышена в 2 раза. Увеличение гнездовой плотности сороки в городе можно объяснить, по-видимому, лучшей обеспеченностью пищей зимой и на протяжении всей стадии сезона размножения, что согласуется с утверждением [10], что оседлые виды птиц с наибольшей плотностью заселяют пригодные условия максимально благоприятные. Именно этим, видимо, и можно объяснить в нашем случае тот факт, что в Минске зимой сороки не оставляют гнездовые участки, либо небольшими группами держатся вблизи них в местах концентрации пищевых отходов. По этой причине большинство сорок за городом в зимнее время прерывают связь с индивидуальными территориями и начинают кормиться в столице.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сахвон, В.В. Плотность гнездования и особенности пространственного распределения сороки (*Pica pica*) в городе Минске / В.В. Сахвон // Труды БГУ. – 2016. – Вып. – № 11 (2). – С. 286–290.
2. Пашаев, В.Ш. Роль птиц в расселении паразитических членистоногих в г. Махачкале и его окрестностях / В.Ш. Пашаев, М.А. Алиев, Ш.К. Алиев // Российский паразитологический журнал. – Вып. № 1. – 2010. – С. 5–136.
3. Русев, И.Т. Птицы как вероятный фактор заноса и распространения высокопатогенного птичьего гриппа H5N1 в условиях мегаполиса / И.Т. Русев, В.Д. Винник, Д.А. Соколовский // Вісник Дніпропетровського університету // Біологія, медицина. – Вып. № 3–1. – 2012. – С. 125–132.
4. Константинов, В.М. Проблемы регулирования численности массовых видов птиц в городах / В.М. Константинов, И.Г. Лебедев // Экологические исследования в Москве и Московской области. Сб. научн. тр. – М.: Наука, 1995. – С. 65–67.
5. Боголюбов, А.С. Изучение численности птиц различными методами / А.С. Боголюбов. – М.: Экосистема, 2002. – 15 с.
6. Бибби, К. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / К. Бибби, М. Джонс, С. Марсен. – М.: Союз охраны птиц России. – 2000. – 186 с.
7. Peterson, R. Die vogel Tiropas / R. Peterson, G. Mountfort, P. Hollom. – Hamburg und Berlin, 1983. – 535 s.
8. Лакин, Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для биол. спец. вузов – 4-е изд., перераб. и доп. / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
9. Соколовская, А.С. Экология сороки (*Pica pica*), её место и роль в структуре населения врановых птиц урбандо ландшафта г. Минска / А.С. Соколовская, А.В. Хандогий // Международная научно-практическая конференция студентов «Модернизация профессиональной подготовки специалистов в области естественнонаучного образования» (26 апреля 2021 г., г. Минск). – Минск: БГПУ, 2021. – С. 156–158.
10. Bowers, M.A. Foraging of gray squirrels on an urban-rural gradient: use of the GUD to assess anthropogenic impact / M.A. Bowers, B.B. Breland // Ecol. Appl. – 1996. – Vol. 6. – P. 1135–1142.

**ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ
НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМОННЫХ НАНОЧАСТИЦ
ГИБРИДНЫХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ**

**EFFECT OF COLD ATMOSPHERIC PLASMA TREATMENT ON THE OPTICAL
PROPERTIES OF PLASMONIC NANOPARTICLES FROM HYBRIDE
PHOTOCATAYSTS FOR DEGRADATION OF AQUEOUS ORGANIC POLLUTANTS**

**А. А. Щербович^{1,2,3}, В. А. Люшкевич³,
Н. А. Савастенко^{1,2}, И. И. Филатова³, С. А. Маскевич^{1,2}
А. А. Shcherbovich^{1,2,3}, V. A. Lyushkevich³,
N. A. Savastenko^{1,2}, I. I. Filatova³, S. A. Maskevich^{1,2}**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический университет
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
scherbovich.a.a@gmail.com

³Институт физики НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь,

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus,

³B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

Применение плазменных методов для синтеза эффективных плазмонных фотокатализаторов для разложения органических примесей в водных средах ограничено из-за недостатка понимания процессов влияния плазмы на свойства плазмонных наночастиц. В данной работе было исследовано влияние холодной плазмы, создаваемой в диэлектрическом барьерном разряде в воздухе, на оптические свойства наночастиц серебра (Ag). Нанесенные на кварцевые подложки серебряные наночастицы подвергались воздействию плазмы в течение различных периодов времени. Для оценки влияния плазмы на плазмонные свойства наночастиц серебра использовался метод фотометрии.

The use of plasma-assisted synthesis of effective plasmonic photocatalysts for degradation of aqueous organic pollutants is limited by a lack of understanding of the effects of plasma treatment on the properties of plasmonic nanoparticles. In this study, the effect of cold atmospheric plasma on the optical properties of plasmonic silver (Ag) nanoparticles was investigated. Silver nanoparticles were deposited on quartz surfaces and treated by dielectric barrier discharge plasma for various time. The plasma treated Ag nanoparticles were characterized using UV-visible spectroscopy technique.

Ключевые слова: наночастица, Ag, серебряные наночастицы, плазмонная наночастица, плазмонный фотокатализатор, плазма, плазменная обработка, диэлектрический барьерный разряд, ДБР.

Keywords: nanoparticle, Ag, silver nanoparticles, plasmonic nanoparticles, plasmonic photocatalyst, plasma, plasma treatment, dielectric barrier discharge, DBD.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-205-208>

Загрязнение пресных вод стойкими органическими соединениями, способными проникать в пищевые цепи и вызывать различные заболевания, включая онкологические, является серьезной экологической проблемой [1–2]. Гетерогенный фотокатализ под действием ультрафиолетового и видимого излучения в присутствии полупроводниковых катализаторов является одним из эффективных способов очистки водных сред от органических примесей, источниками которых являются фармакологические производства, учреждения, использующие фармакологическую продукцию, а также предприятия (текстильные, кожевенные, полиграфические, производители косметики и парфюмерии и т. д.), использующие в технологических процессах различные органические красители [1, 2]. Однако более широкое применение фотокатализа для разложения (фотодеградации) органических примесей в промышленных масштабах ограничено из-за недостаточной эффективности существующих фотокатализаторов [1, 2]. Одним из способов повышения фотокаталитической активности полупроводниковых материалов,

в частности диоксида титана (TiO_2) и оксида цинка (ZnO), является их допирование плазмонными наночастицами и замена термической стадии обработки в процессе синтеза материалов плазменной обработкой [3, 4].

В предыдущих работах [3, 4] было установлено, что допирование фотокатализаторов на основе оксида цинка плазмонными наночастицами серебра с последующей обработкой гибридных фотокаталитических систем ZnO /плазмонная наночастица в плазме диэлектрического барьерного разряда приводит к повышению их фотокаталитической активности в реакциях фотодegradации метилового оранжевого, симулирующего промышленные отходы, содержащие органические красители, и кофеина бензоата натрия, симулирующего фармакологические отходы. Было установлено, что эффективность плазмонных гибридных фотокаталитических систем зависит от значения эффективной энергии E_{eff} , поглощенной материалом за время обработки в плазме. Наиболее эффективным оказался фотокатализатор, обработанный в плазме диэлектрического барьерного разряда при значении $E_{\text{eff}} = 18000$ Дж. Установлено, что обработка фотокатализаторов в плазме при оптимальных условиях повышает их эффективность, выраженную в терминах константы скорости реакции, в 1,7 раз. В то же время было показано, что допирование ZnO наночастицами серебра без последующей обработки в плазме приводит к снижению фотокаталитической активности. Также установлено, что допирование ZnO плазмонными наночастицами с последующей плазменной обработкой существенно изменяет время рекомбинации фотоиндуцированной пары электрон-дырка, определенной методом кинетической флуоресцентной спектроскопии.

Настоящая работа направлена на исследование воздействия плазмы диэлектрического барьерного разряда непосредственно на наночастицы серебра, используемые для модификации ZnO .

При приготовлении коллоида серебра следовали стандартной методике цитратного восстановления, подробно описанной в [3, 4]. Для обработки исследуемых образцов в плазме ДБР наночастицы серебра были осаждены на кварцевые стекла.

Плазменная обработка катализаторов проводилась в плазме диэлектрического барьерного разряда, создаваемого в воздухе при нормальном давлении в условиях, соответствующих условиям обработки фотокатализаторов в предыдущей работе [4]. Диэлектрический барьерный разряд создавался между плоским электродом, выполненным в виде сетки с диэлектрическим покрытием, и плоским металлическим заземленным электродом. Обрабатываемый образец размещали на заземленном электроде и подвергали воздействию плазмы. Дозу энергетического воздействия на образец (суммарную энергию E_{eff} , введенную в разряд за время обработки катализатора t) оценивали исходя из данных электрофизических измерений энергии E_{el} , вложенной в разрядный объем за один цикл: $E_{\text{eff}} = E_{\text{el}} \cdot t \cdot f$, где f – частота разряда. Таким образом, образец обрабатывали в течение определенного времени, исходя из расчетного значения эффективной энергии E_{eff} , после достижения которого обработку прекращали и контролировали изменения оптических характеристик наночастиц серебра с помощью спектрофотометра SOLAR PB 2201 (SOLAR, Беларусь). Затем цикл обработки и измерений снова продолжали до достижения требуемого максимального значения E_{eff} .

На рисунке 1 представлены спектры поглощения коллоидного раствора наночастиц серебра и наночастиц серебра, осажденных из этого раствора на кварцевое стекло (подложку).

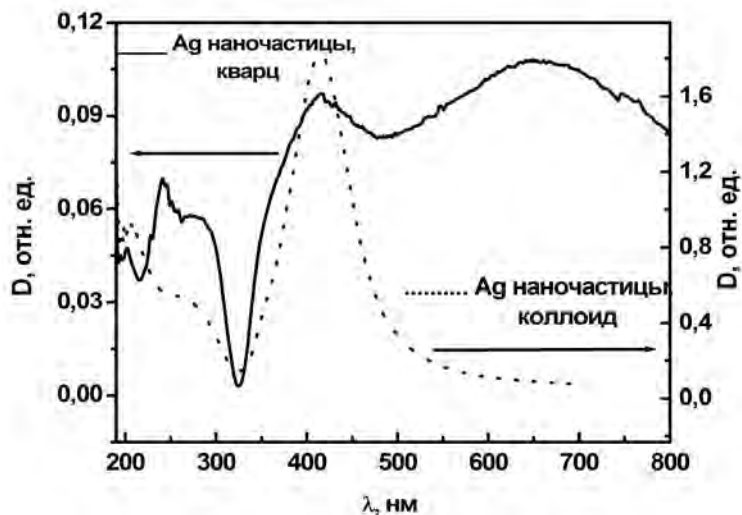


Рисунок 1 – Спектры поглощения коллоидного раствора наночастиц серебра и наночастиц серебра, осажденных на кварцевое стекло

Как видно из рисунка 1, пик плазмонного поглощения наночастиц серебра в коллоидном растворе находится на длине волны 414 нм. После осаждения на кварцевое стекло вследствие агрегации наночастиц серебра наблюдается формирование второй полосы плазмонного возбуждения в области 700–800 нм.

На рисунке 2 представлены спектры поглощения осажденных на кварцевое стекло наночастиц серебра после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда в условиях, аналогичных условиям обработки плазмонных катализаторов ZnO /наночастица серебра в работе [4].

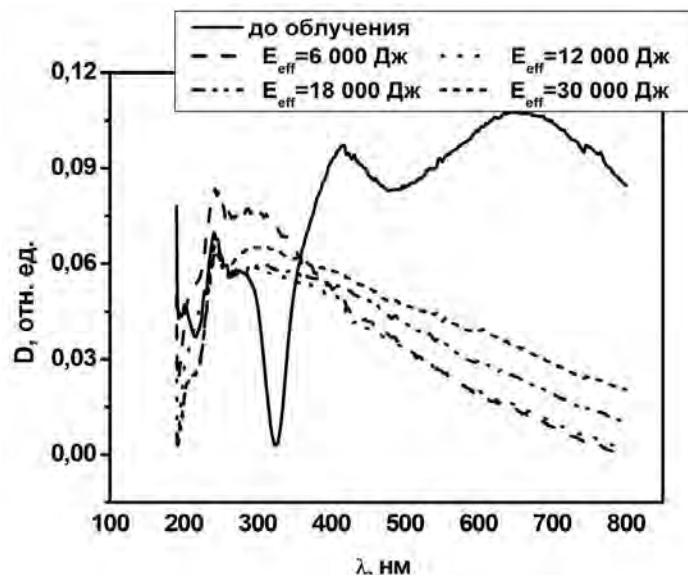


Рисунок 2 – Спектры поглощения наночастиц серебра на кварцевом стекле до и после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при различных значениях энергии, поглощенной за время обработки E_{eff}

Как видно из рисунка 2, под воздействием плазмы уже при минимальном значении энергии $E_{\text{eff}} = 6\,000$ Дж происходит разрушение как наночастиц (исчезновение плазмонного резонанса на длине волны 414 нм), так и агрегаций наночастиц (исчезновение полосы плазмонного возбуждения в области 700–800 нм). Вероятно, увеличение оптической плотности в диапазоне 240–350 нм в спектрах поглощения обработанных в плазме наночастиц серебра связано с образованием малых кластеров Ag в результате распада наночастиц под воздействием плазмы.

В процессе обработки образца плазмой диэлектрического барьерного разряда электроны проникают в локально расположенные наночастицы и замедляются в кварцевой подложке. В случае агрегированных наночастиц замедление электронов происходит в самих частицах и агрегаты приобретают отрицательный заряд. Вторичная эмиссия электронов из наночастиц и кварцевого стекла приводит к образованию положительно заряженных наночастиц серебра и поверхности стекла. Таким образом, вполне вероятно, что благодаря воздействию электронов наночастицы серебра могут приобретать как положительный, так и отрицательный заряд. Присутствие заряженных наночастиц с различными знаками заряда на поверхности стекла может привести к их полевой миграции по поверхности стекла и слиянию с образованием более крупных частиц. Наконец, зарядка наночастиц может привести к разрушению частиц, что аналогично кулоновскому взрыву молекулярных кластеров [5].

Спектр поглощения наночастиц серебра, обработанных в плазме при условиях, оптимальных для получения наиболее эффективного плазмонного катализатора (ZnO/наночастица серебра), то есть при значении $E_{\text{eff}} = 18\,000$ Дж, не имеет характерных особенностей, отличающих его от спектров поглощения наночастиц, обработанных в плазме при других значениях энергии. Таким образом, повышение эффективности фотокаталитических гибридных систем ZnO/наночастица серебра, обработанных в плазме диэлектрического барьерного разряда при значении эффективной поглощенной энергии $E_{\text{eff}} = 18\,000$ Дж, скорее всего не связано со специфическим воздействием плазмы на плазмонные характеристики наночастицы.

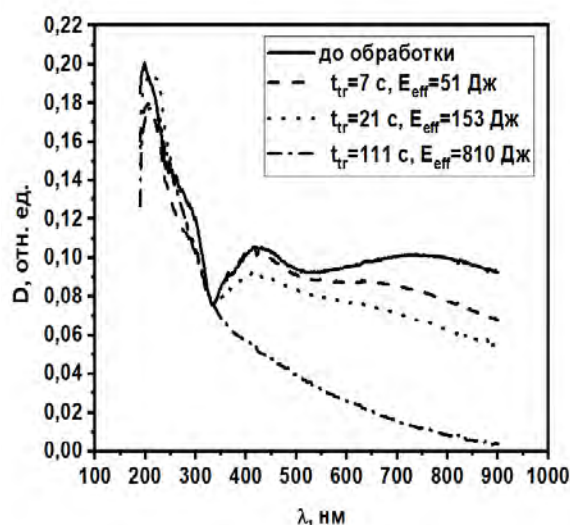


Рисунок 3 – Спектры поглощения наночастиц серебра на кварцевом стекле до и после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при значениях энергии $E_{\text{eff}} = 50\text{--}810$ Дж

Для установления значения энергии, поглощенной материалом за время воздействия плазмы, E_{eff} , критического для изменения свойств наночастиц, были проведены дополнительные эксперименты. Нанесенные на кварцевые подложки наночастицы были обработаны в плазме диэлектрического барьерного разряда в диапазоне более низких значениях $E_{\text{eff}} < 1000$ Дж.

Как видно из рисунка 3, после начала облучения наблюдается уменьшение интенсивности плазмонных полос. Сначала исчезает длинноволновая полоса, характерная для агрегатов наночастиц. Наиболее вероятно, что в результате фотоэлектронной эмиссии или в результате поглощения электронов наночастицы серебра приобретают положительный или отрицательный заряд. В результате электростатического отталкивания наночастиц происходит их дезагрегация. В результате дальнейшего облучения наночастиц серебра электронами исчезает полоса локализованных плазмонов вблизи 414 нм. Данный результат свидетельствует о разрушении плазмонных наночастиц серебра. Это происходит при значении $E_{\text{eff}} = 810$ Дж.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что обработка плазмонных наночастиц серебра в плазме диэлектрического барьерного разряда при значении поглощенной за время обработки энергии порядка 810 Дж приводит к разрушению наночастиц и их агломератов, что, по-видимому, сопровождается образованием кластеров серебра.

Работа выполнена в рамках задания 2.2.02 (НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов») ГПНИ «Конвергенция-2025» на 2021–2025 годы, подпрограмма «Микромир плазма и Вселенная».

ЛИТЕРАТУРА

1. Kansal, S.K. Studies on photodegradation of two commercial dyes in aqueous phase using different photocatalysts / S. K. Kansal, M. Singh, D. Sud // Journal of hazardous materials. – 2007. – Vol. 141. – iss. 3. – P. 581–590.
2. Sarkar, S. Photocatalytic degradation of pharmaceutical wastes by alginate supported TiO₂ nanoparticles in packed bed photo reactor (PBPR) / S. Sarkar, S. Chakraborty and C. Bhattacharjee // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2015. – V. 121. – P. 263–270.
3. Effect of impregnation by silver nanoparticles on the efficiency of plasma-treated ZnO-based catalysts / N.A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2020. – V. 24, № 1. – P. 21–45.
4. 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. – in press.
5. Sidorov, A.I. Effect of Electron Irradiation on the Size and Concentration of Silver Nanoparticles on the Surface of Silicate Glass / A. I. Sidorov, M. A. Prosnikov, and I. K. Boricheva // Technical Physics. – 2015. – V. 60, № 12. P. 1872–1876.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ САНАЦИИ ПРИ УГЛЕВОДОРОДНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF BIOLOGICAL SANITATION METHODS IN CASE OF HYDROCARBON CONTAMINATION OF THE SOIL

А. Д. Селезнёва^{1,2}, К. М. Мукина^{1,2}

A. D. Seliazniova^{1,2}, K. M. Mukina^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

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

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В статье проводится оценка эффективности методов биологической санации при углеводородном загрязнении почвы, как с применением биопрепаратов, так и с активацией естественной микробиоты с помощью внесения минеральных удобрений.

The article evaluates the effectiveness of biological sanitation methods in case of hydrocarbon contamination of the soil, both with the use of biological products and with the activation of natural microbiota by applying mineral fertilizers.

Ключевые слова: загрязнение почв нефтепродуктами, углеводород, фитотоксичность, рекультивация почв, биоаугментация, углеводородное загрязнение, биостимуляция, обработка почв.

Keywords: soil pollution with petroleum products, hydrocarbon, phytotoxicity, soil reclamation, bioaugmentation, hydrocarbon pollution, biostimulation, soil treatment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-208-211>

Серьезной экологической проблемой выступает загрязнение природных экосистем нефтепродуктами и их отходами. Почва в первую очередь страдает от загрязнения нефтью и нефтепродуктами, что приводит к угнетению или полному ингибированию роста и развития большинства растений, почвы становятся фитотоксичными. В Беларуси в настоящее время основным объектом исследования углеводородного загрязнения являются почвы в районах промышленных предприятий, как правило, не используемые в сельском хозяйстве и не являющиеся областями массового проживания населения. В связи с концентрацией промышленных объектов в пригородных зонах почвы этих районов испытывают комплексное техногенное воздействие, связанное с разнообразием источников и путей поступления загрязнителей. Наиболее уязвимыми звеньями являются микробный состав почвы и растения. При этом загрязнение почв и сопредельных сред в этих районах создает опасность для населения и поэтому является актуальным для исследования.

В связи с этим целью работы является оценка эффективности методов биологической санации при углеводородном загрязнении почвы с применением биопрепаратов и с активацией естественной микрофлоры.

Объектом исследования являлся аварийный разлив нефтепродукта (мазут) с высокой концентрацией нефтепродукта в почве (до 60 %) – на территории не функционирующего мазутного хозяйства – комплекс устройств, обеспечивающих приемку, хранение и подачу необходимого количества мазута в котельную и подготовку его для сжигания в топках котлов. Состоит из сооружений, включающих приемосливные устройства, мазутохранилища, мазутонасосную станцию, установки для ввода жидких присадок, мазутопроводы в пределах тепловой. Располагается на участке, принадлежащем предприятию «Племрепродуктор птицефабрики ОАО «Смолевичи Бройлер»» (п. Хотеново, Смолевичский район, Минской области). Данный объект является достаточно типичным для Республики Беларусь.

На участке, подлежащем очистке, локализованы 4 вертикальных металлических мазутохранилищных резервуара (каждый объемом 200 м³). На открытый грунт площадью 840 м² произошёл разлив мазута из резервуаров. Общий объём загрязненного грунта составляет около 1500 м³, а глубина загрязнения варьирует в пределах 0,5–1 м.

Было выбрано 4 экспериментальных участка площадью 1×0,5 м, степень загрязнения которых до обработки составляла примерно 55,85–60,53 %. Биоаугментация на загрязненном участке проводилась с использованием биопрепаратов на основе бактерий – деструкторов нефтепродуктов:

1. Микробная составляющая биосорбционного препарата для очистки и рекультивации почвы от нефти и продуктов ее переработки «Родобел-ТН» (ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», Минск).

Основа препарата – консорциум высокоактивных микроорганизмов-деструкторов углеводородов нефти; форма – жидкая; титр – не менее 1,0×10⁹ КОЕ/мл.

2. Экспериментальный бактериальный препарат НИЛ биотехнологии кафедры микробиологии БГУ

Препарат изготовлен на основе 4 штаммов бактерий – деструкторов нефтепродуктов из коллекции биологического факультета БГУ. Штаммы являются непатогенными, нетоксичными, нефитопатогенными, депонированы в Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов, которая функционирует на базе Государственного научного учреждения «Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси».

Для культивирования бактерий была использована модифицированная среда Мюнца (г/л: Na₂HPO₄×12H₂O – 0,6; KH₂PO₄ – 0,14; MgSO₄×7H₂O – 0,1; NaNO₃ – 1,3; NaCl – 1,0; FeSO₄×6H₂O – 0,01; pH 6,8–7,0) с мелассой (2 %) в качестве источника углерода. Среду стерилизовали кипячением в течение 30 мин. Бактерии культивировали раздельно в колбах с аэрацией (140 об/мин) при 28 °С, а затем смешивали в соотношении 1:1:1:1.

Обработка участков проходила с применением жидкой формы препаратов в объеме 10 л. Перед внесением в загрязненную почву вносили опилки и соли: Аммофос (Гродно-Азот) – источник азота и фосфора; Калия Хлорид (Солигорск-Калий) – источник калия; Карбамид (Гродно-Азот) – источник азота.

Таблица 1 – Схема внесения биопрепарата на экспериментальных участках

Компонент	Внесение компонентов на участки			
	Участок №1	Участок №2	Участок №3	Участок №4
Микробная составляющая «Родобел-ТН»	+	+	н/в	+
Опилки	+(с конским навозом)	+	+	+
Соли	+	+	+	н/в

Примечание: + – компонент вносился; н/в – компонент не вносился.

Этапы обработки участков:

Площадь обработки 1 м², вес грунта с нефтепродуктом – 0,5 тонн.

Участок перекапывается, обрабатывается смесью солей и опилок, в связи с чем в первой фазе обработки происходит разбавление загрязнённого грунта, внесение опилок позволяет снизить концентрацию нефтепродукта до уровня приемлемого, для проведения биоремедиации, производится полив.

Внесение химической солевой подкормки из расчёта на одну тонну:

Участок №1, 2, 3.

1. Аммофос – 17 кг

2. Калия Хлорид -20 кг

3. Карбамид- 16 кг

4. Бактериальный препарат «Родобел-ТН» – 20 литров (две обработки).

5. Опилки с конским навозом

Участок №4.

1. Бактериальный препарат «Родобел-ТН» – 20 л. (две обработки).

2. Чистые опилки

Концентрация загрязнения определялась весовым и флуориметрическим методом.

Весовой метод. Определение нефтепродуктов проводилось в соответствии с ГОСТ 17.4.2.03-86. «Методы инструментального анализа» Приложение 3 «Методы определения нефти и нефтепродуктов». Навеска загрязнённой почвы обрабатывается растворителем (толуолом), который эффективно растворяет мазуты, битумы и гудроны, до полного извлечения нефтепродуктов. После этого образец повторно взвешивается. Содержание нефтепродуктов рассчитывается по формуле (1):

$$C = (m_1 - m_2) / m_l \times 100 \%, \quad (1)$$

где C – концентрация нефтепродукта в пробе (масс. %),

m₁ – исходная масса загрязнённой почвы (г),

m₂ – масса почвы после экстракции нефтепродуктов (г).

Флуориметрический метод. Образцы загрязнённой почвы доставлялись в филиал «Центральная лаборатория» РУП «НПЦ по геологии» Минприроды РБ, где производилось определение содержания нефтепродуктов в соответствии с инструкцией «Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02»» на основании ПНД Ф 16.1:2.21-98.

Концентрацию нефтепродуктов из мг/кг переводили в % по формуле (2):

$$C = c_1 / 10\,000, \quad (2)$$

где C – концентрация нефтепродукта в пробе (масс. %),

c₁ – концентрация нефтепродукта в мг/кг,

10 000 – коэффициент для перевода мг/кг в масс. %.

Отбор проб для определения концентрации нефтепродуктов осуществлялся трижды в процессе обработки: в день первичной обработки (12.07.2021), через 14 дней после первичной обработки (26.07.2021), через 7 дней после повторной обработки (09.08.2021).

Также был проведен тест на фитотоксичность. Метод основан на реакции тест-культуры на наличие загрязняющих веществ в почве, что позволяет выявить токсичное (ингибирующее) действие тех или иных веществ или наоборот стимулирующее влияние, активизирующее развитие тест-культур [27].

Под влиянием большого числа химически активных компонентов у растений могут нарушаться обменные процессы, которые неизбежно приводят к искривлению стеблей и неравномерному разрастанию тканей. Кроме того, в плодах могут накапливаться токсичные вещества.

В данном исследовании семена растений-сидератов замачивались в водопроводной воде при комнатной температуре в течение суток. Высев производился в день повторной обработки 02.08.2021. Результат учитывали через 7 дней (09.08.2021).

Для иммобилизации бактерий-деструкторов, а также улучшения аэрации почвы использовали опилки соевые. Для проведения теста на фитотоксичность почвы использовали 4 сорта растений-сидератов: люпин узколистный (*Lupinus angustifolius*); редька масличная (*Raphanus sativus* L.); горчица (*Sinapis* sp.); фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia*).

Таблица 2 – Динамика убыли нефтепродуктов в почве

Время отбора образцов для анализа	Содержание нефтепродуктов (масс. %) в почве на участках			
	Участок №1	Участок №2	Участок №3	Участок №4
До обработки	55,85–60,53			
В день первичной обработки (12.07.2021)	25,20	25,20	26,50	25,80
Через 14 дней после первичной обработки (26.07.2021)	13,70	13,10	17,60	14,30
Через 7 дней после повторной обработки (09.08.2021)	9,32	8,49	14,15	11,95

Как видно из таблицы 2, внесение опилок позволяет снизить концентрацию нефтепродукта до уровня приемлемого при проведении биоремедиации (24,20-25,5 %). Через 14 суток после первичной обработки концентрация нефтепродукта снижается до 13,10-17,60 %. К этому времени можно заметить некоторую разницу в скорости процессов деградации нефтепродуктов на разных участках:

- на участке 1 она составляет 0,82 % в сутки;
- на участке 2 – 0,86 % в сутки;
- на участке 3 – 0,64 % в сутки;
- на участке 4 – 0,82 % в сутки.

Относительная эффективность деградации нефтепродуктов за 28 дней составила от 46,60 % на участке №3 (без внесения биопрепарата) до 66,31 % на участке №2 (с внесением биопрепарата и минеральных удобрений). Как внесение дополнительных органических источников (участок №1), так и отсутствие минеральных удобрений (участок №4) приводили к снижению эффективности процесса деградации нефти (63,02 % и 53,68 %, соответственно).

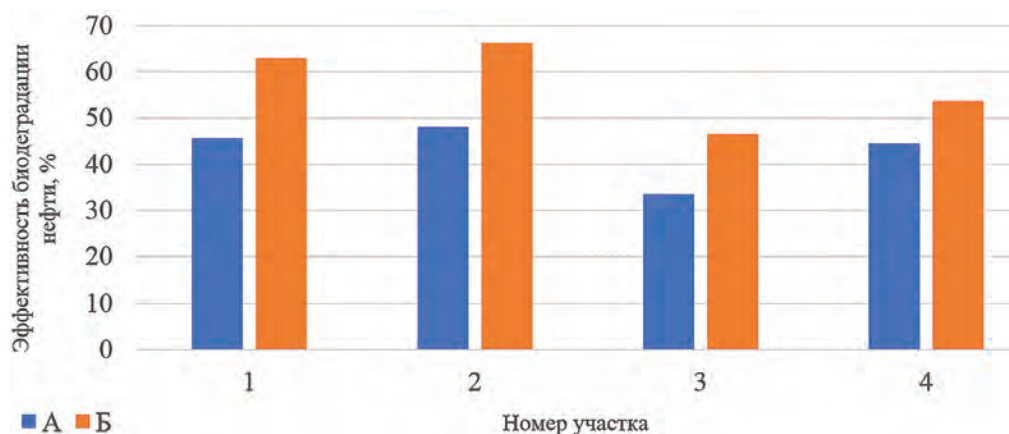


Рисунок 1 – Эффективность биодеградации нефти в почве (в % от начального загрязнения):
А – за 14 суток; Б – за 28 суток

1. эффективность процесса биодеградации нефтепродуктов на экспериментальных участках путем количественного определения концентрации нефтепродуктов и теста на фитотоксичность дала следующие результаты: наиболее эффективной конфигурацией вносимых элементов является участок 2 (с внесением биопрепарата и минеральных удобрений) показатель относительной эффективности деградации нефтепродуктов за 28 дней составил 66,31 %. Исследование почвы на фитотоксичность показало, что на участках №1, №2 и №4, где вносился биопрепарат, растения успешно возшли, а на участке №3 – нет.

Можно сделать вывод, что внесение минеральных удобрений приводит к более эффективному протеканию процесса биодеградации нефти при обработке почвы микробной составляющей биопрепарата «Родобел-ТН». Внесение сосновых опилок также обеспечивает снижение концентрации (за счет разбавления) нефтепродукта до значений, пригодных для биоремедиации (24,20-25,5 %). Для эффективного протекания процесса биодеградации необходимо обеспечить аэрацию и субстрат для иммобилизации для бактерий-деструкторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернявская, М. И., Маковицкая, М. А., Смолич, И. И., Титок, М. А., Юрин, В. М. Оценка эффективности функционирования природных микроорганизмов-деструкторов нефти. М.: изд-во БГУ, 2013.
2. Титок, М. А. и др. Изучение генетического разнообразия и оценка биодеградативного потенциала бактерий-деструкторов полициклических ароматических углеводородов, выделенных из природных источников на территории Беларуси: отчет о НИР / БГУ, 2010.
3. Н.М. Исмаилов, Ю.И. Пиковский // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука. –1988. – С. 222-230.
4. Киреева Н.А. Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв / Н.А. Киреева, Г.Г. Кузяхметов, А.М. Мифтахова, В.В. Водопьянов. – Уфа: Гилем. – 2003. – 266 с
5. Brown, J.L. Restoration of petroleum contaminated sites using phased bioremediation / J.L. Brown, R.J. Nadeau // Biorem. J. – 2002. – P. 315–319.

SEGETAL-RUDERAL COMPONENT OF ROADSIDE VEGETATION ON THE EXAMPLE OF HIGHWAYS IN THE CENTRAL PART OF BELARUS

СЕГЕТАЛЬНО-РУДЕРАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ ПРИДОРОЖНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

Ya. S. Shavalda^{1,2}

Е. С. Шавалда^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
shavalda@bk.ru

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Проведено описание и анализ придорожной растительности автомобильных дорог в районах г. Минска и Минской области с последующим определением и группировкой сегетально-рудеральных видов. Растения распределены по сегетальной, сегетально-рудеральной, рудерально-сегетальной и рудеральной принадлежностям. Всего было проведено 50 описаний и обнаружено 266 видов, из которых наибольшее количество исследуемого компонента флоры отмечено для рудеральной (20) и сегетально-рудеральной фракций (25) – 45 видов (16.9 %); наименьшее количество обнаружено для рудерально-сегетальной растительности – 11 (4.1 %). Доля всего сегетально-рудерального компонента составила 71 вид (26.7 %).

The description and analysis of the roadside vegetation of highways in the districts of Minsk and Minsk region was carried out, followed by the identification and grouping of segetal-ruderal species. Plants are distributed according to segetal, segetal-ruderal, ruderal-segetal and ruderal accessories. A total of 50 descriptions were made and 266 species were found, of which the largest number of the studied flora component was noted for the ruderal (20) and segetal-ruderal fractions (25) - 45 species (16.9 %); the smallest amount was found for ruderal-segetal vegetation – 11 (4.1 %). The share of the entire segetal-ruderal component was 71 species (26.7 %).

Ключевые слова: сегетал, рудерал, придорожная растительность, Беларусь.

Keywords: segetal, ruderal, roadside vegetation, Belarus.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-212-214>

Территории, прилегающие к дорожному полотну, подвержены одному из самых интенсивных антропогенных воздействий по своей нагрузке и постоянству действия. Использование автотранспорта как в личных целях, так и для перевозки международных грузов и внутри страны создают возможности для расширения ареала произрастания аборигенных и распространения ранее не встречающихся видов растений, опасность из которых представляют наиболее агрессивные инвазионные виды. Таким образом, автомобильные дороги представляют собой линейные участки («ворота»), служащие плацдармом для дальнейшего распространения видов из антропогенно нарушенных придорожных территорий в районы местных ненарушенных (относительно нарушенных) луговых, болотных и лесных сообществ. Антропогенное изменение прилегающей территории дает возможность проникновению и распространению сегетально-рудеральной флоры с характерными для нее признаками эксплентности, что не позволяет полноценно конкурировать на ненарушенных территориях с аборигенными видами.

Другой не менее важной проблемой является загрязнение прилегающей территории химическим и физическим видами загрязнений, что также влияет на рост и развитие различных видов растений и непосредственно влияет на распространение сегетально-рудеральной растительности. Химические виды загрязнения – поллютанты различного происхождения, способные модифицироваться и / или длительное время сохраняться в компонентах среды (углеводороды, оксиды) с последующей миграцией между соответствующими компонентами (воздух-почва, воздух-растение, почва-растение, почва-грунтовые воды и др.) и по трофическим цепям, что особенно влияет на внутривидовую и межвидовую конкуренции произрастающих видов. Особую актуальность вызывают тяжелые металлы и их соединения, обладающие длительным токсическим действием и эффектом аккумуляции не только в растениях, но и с последующим их накоплением в других организмах. Физическое (механическое) загрязнение характеризуется скоплением мусора в полосе отвода в результате безответственности человека или отсутствия соответствующих мест выброса мусора.

Другой актуальной проблемой сегодня становится солевое загрязнение почвы вследствие применения на автодорогах для борьбы с зимней скользкостью противогололедных реагентов (95-98 % представлены хлоридом

натрия, остальные примеси – нитраты, фосфаты, сульфаты натрия, кальция и т.д.). В результате снегоуборочных работ, с дорожными стоками и при воздушно-капельном переносе солей происходит их поступление в окружающую среду. Весной часть солей, аккумулированных в снеге, удаляется с талым стоком; оставшаяся часть идет на засоление почв. В зависимости от преимущественного накопления отдельных солей натрия засоление может быть сульфатным, хлоридным, содовым или смешанным. Наиболее вредное влияние оказывают ионы Na^+ и Cl^- . В теплый период года, по мере промывания атмосферными осадками, уровень засоления снижается, достигая минимума к началу осени. Влияние солей на почвогрунты двойное. Прежде всего, они теряют свою первоначальную структуру: мелкие частицы связного грунта удерживают ионы натрия, в результате связность грунта уменьшается, и он легко размывается водой; из такого грунта легко вымываются вещества для питания растений. В то же время вода, насыщенная солями, плохо впитывается корневой системой, в результате растение заболевает. Другое неблагоприятное явление – увеличение показателя pH грунтов. Все вышеперечисленные факторы дают возможность роста и развития рудеральной растительности благодаря ее способности заселять химически измененный нарушенный почвенный покров в отсутствие ярко выраженной межвидовой конкуренции.

Строительство дорог нередко сопровождается уничтожением естественной растительности придорожных территорий, порой особо ценных сообществ или популяций охраняемых видов растений. Изменяются экологические режимы в полосе отвода и на примыкающих площадях. Имеют место случаи подтопления прилегающих к автодорогам территорий из-за ошибок в проектировании и строительстве водопропускных сооружений. В результате изменения водного и воздушного режимов почвы в почвенном растворе имеет место недостаток кислорода для дыхания растений, накапливаются сероводород, закисное железо и уголекислота. Подтопление и затопление – опасные и довольно широко распространенные антропогенные воздействия, способствующие заболачиванию ранее суходольных территорий. Это, в случае луговых фитоценозов, приводит к резкой смене растений на влаголюбивые (рис. 1).



Рисунок 1 – Изменение водного режима почвы, вызванное возведением дороги в экспозиции «насыпь». Произрастают влаголюбивые виды растений: *Salix pentandra* L., *Bidens tripartita* L., *Lysimachia vulgaris* L. и др.

Придорожная полоса, как место с активной антропогенной активностью, представляет собой измененный участок территории, где конкурируют между собой виды аборигенной и адвентивной фракций. Проектирование, строительство, эксплуатация и реконструкция дорожного полотна приводят к различным эдафическим и орографическим изменениям в местных сообществах. Так, наличие кювета как участка придорожной конструкции, служащего водоотводом, является местом аккумуляции видов, произрастающих на богатых минеральными соединениями территориях с длительным переувлажнением почвы. В свою очередь наличие искусственной песчаной насыпи с практически отсутствующим почвенным слоем (искусственный почвогрунт) вызывает постоянный сток выпавших осадков и развитие эрозионных процессов, что вносит свой вклад в развитие рудерально-сегетальной растительности с псаммофитными, ксерофитными и гелиофитными свойствами в зависимости от гранулометрического состава почвогрунтов (Рис. 2).

В ходе исследования анализируемые виды растений были распределены на 4 группы: сегетальные (С), сегетально-рудеральные (СР), рудерально-сегетальные (РС) и рудеральные (Р). Было обнаружено, что количество СР видов превышало все остальные, но по сравнению с Р данные различия не были статистически значимыми ($p > 0.05$). В свою очередь, РС группа растений показала самое меньшее количество – доля их средней встречаемости составила 3.6 %, однако статистически значимыми различиями ($p < 0.005$) были показатели при сравнении с СР и Р группами (рис. 3).

Таким образом, доля растений сегетально-рудеральной принадлежности в среднем занимает $\frac{1}{4}$ всего флористического состава на исследуемых придорожных территориях. Данные результаты показывают, что автомобильные дороги представляют собой яркий пример синантропизации прилегающих к ней районов из-за активной антропогенной деятельности, что дает возможность развития сегетально-рудеральной флоры.



Рисунок 2 – Сегетально-рудеральная растительность на непосредственно примыкающей к дорожному полотну полосе. Особенно для данного участка выделяются *Chenopodium album* L. и *Polygonum aviculare* L.

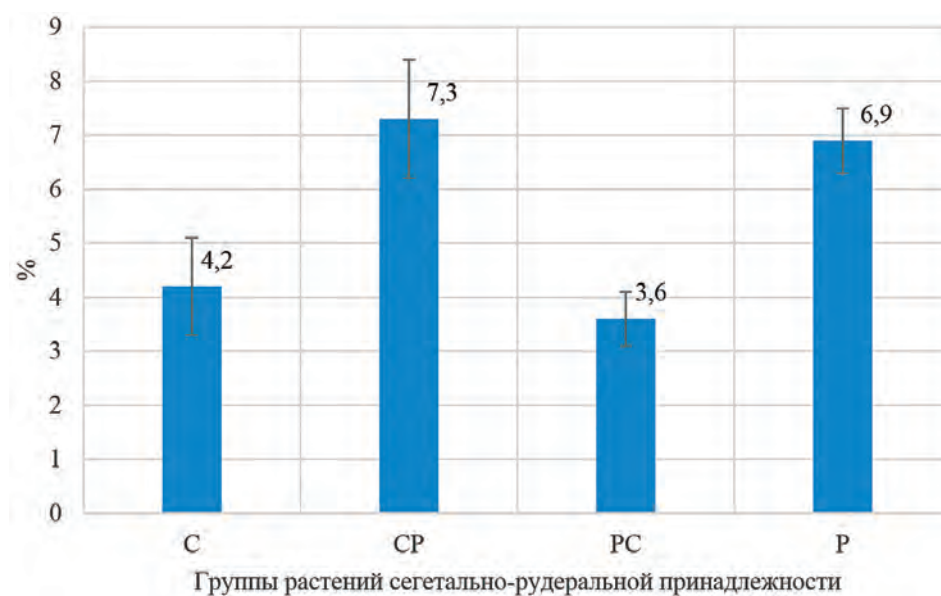


Рисунок 3 – Встречаемость исследуемых видов растений: С – сегетальные, СР – сегетально-рудеральные, РС – рудерально-сегетальные, Р – рудеральные

ЛИТЕРАТУРА

1. Канцера, Л. В. Разнообразие и сукцессии растительных сообществ на трансформированных придорожных участках Карелии / Л. В. Канцера // Труды Карельского научного центра РАН. 2012. Т. 1. С. 48–55.
2. Никитин, В.В. Сорные растения флоры СССР. Ленинград: Наука, 1983. – 454 с.
3. Сцепановіч, Я. М. Сінтаксамічная структура і экалагічны стан прыдарожных фітацэнозаў г. Мінска / Я. М. Сцепановіч, М. А. Ганцоўская // Антропогенная трансформация ландшафтов : сб. науч. ст. / Беларус. гос. пед. ун-т им. М. Танка ; редкол. М. Г. Ясовеев, Н. В. Науменко, В. В. Маврищев [и др.]. – Мн.: БГПУ, 2012. – С. 122–124.
4. Судник, А.В. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах / А.В. Судник, И.П. Вознячук // Лесной вестник. – 2020. – Т. 24 (6). – С. 83–95.
5. Пугачевский, А.В. Состояние зеленых насаждений в зоне воздействия Минской кольцевой автодороги и пути повышения их устойчивости / А. В. Пугачевский [и др.] // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси. – Минск, 2006. – Вып. 33. – С. 220–235.

ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ NUCLEAR MATERIAL ACCOUNTING AND CONTROL SYSTEM

Е. Л. Никитин^{1,2}, Е. М. Хаджинов^{1,2}

Е. L. Nikitin^{1,2}, Y. M. Khajynau^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
egor_nikitin_borland_1712@mail.ru, Khajynau@appsys.net

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

В статье произведен сравнительный анализ существующих систем учет и контроля ядерных материалов на объектах ядерного топливного цикла.

The article provides comparative analysis of existing systems for accounting and control of nuclear materials at nuclear fuel cycle facilities.

Ключевые слова: АЭС; ВВЭР; ЗБМ; КТИ. ядерный материал, учет и контроль, МАГАТЭ, автоматизированная система, АЭС, ВВЭР, ЗБМ, КТИ, главный журнал, ОИИК, СНК, МБО.

Keywords: nuclear material, accounting and control, IAEA, automation system, NPP, PWR, MBA, KMP, general ledger, ICR, PIL, MBR.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-217-219>

Учет и контроль ядерных материалов (далее, ЯМ) предполагает работу с огромным количеством документов, которые описывают жизненный цикл ядерного материала, начиная с его появления на заводе и заканчивая утилизацией или захоронением. Количество таких документов может достигать до 200. Работа в ручную с таким большим количеством документов, занимает много времени и велика вероятность ошибок. Используя профильные информационные системы, можно значительно упростить работу по учету и контролю а так же уменьшить вероятность ошибок.

Рассмотрим основные задачи, которые должна решать информационная система учета и контроля ядерных материалов:

1. Управление – информация о ЯМ, является основой для системы управления ЯМ [1];
2. Контроль – информационная система обеспечивает данные для контрольной деятельности [1];
3. Защита – система должна точно и быстро реагировать на изменения состояния ЯМ [1].

Рассмотрим основные типы работ, которые могут производиться на энергоблоке атомной электростанции.

К ним относятся:

1. Прием топлива в ХСТ – сюда входят: проведение входного контроля, размещение топлива, подготовка отчетов;
2. Работы на блоке – перегрузки, загрузки блоков;
3. Межблочные перевозки;
4. Вывоз отработанного ядерного топлива (далее ОЯТ);
5. Инвентаризации;
6. Инспекции;

Выделим ключевые особенности работ данных работ, которые выполняют специалисты по учету и контролю ЯМ :

1. Работа с большим количеством информации о топливе: входные характеристики; изменение характеристик топлива во времени.
2. Работа с отчетами для различных организаций (национальный регулятор, МАГАТЭ и др.)
3. Проведение расчетов по сведению баланса материала

Сравнение существующих информационных систем по учету и контролю ЯМ, приведено в следующей таблице:

Таблица 1 – Сравнение характеристик информационных систем учета и контроля

Название	Страна, компания-производитель	Область применения в рамках учета и контроля	Операционная среда	Год создания
CoreMas [1]	США, Лос-Аламосская Национальная лаборатория	Управление движением материалов и их характеристиками; работа с пломбами; создание отчетов национальному регулятору	Windows NT	1997
E/Z MAS [1]	США, Лос-Аламосская Национальная лаборатория	Управление движением материалов и их характеристиками; создание отчетов для национального регулятора	Браузер	1997
LANMAS [1]	США, Лос-Аламосская Национальная лаборатория	Управление движением материалов и их характеристики; отчет национальному регулятору; работа с пломбами;	Windows NT	1996
NUCMAT [2]	Армения	Управление движением топлива и его характеристиками ;используется как оператором, так и национальным регулятором для составления отчетов в МАГАТЭ; поддержка малых количеств и мест вне установки	Браузер	Неизвестно
АС УиК ЯМ АЭС “Бушер”	ЭАС “Бушер”, Иран	Управление движением топлива; создание картограмм и рабочих графиков; расчеты изотопного состава топлива; создание отчетов для МАГАТЭ	Windows NT	2002
ИАС “Топливо”	Россия, ГК Неолант	Учет количеств ЯМ в ЗБМ; учет местонахождения каждой УЕ, на всех этапах использования и их характеристики; работа с пломбами; работа с отчетами национальному регулятору	Windows	2019
Федеральная Информационная Система УиК ЯМ	Россия, Атомбезопасность	Предназначена для учета и контроля ядерных материалов на уровне государства	Неизвестно	Неизвестно
Информационная система УиК ЯМ	Россия, Атомбезопасность	Предназначена для учета и контроля ЯМ на уровне АЭС	Windows	1997
TRACKWORKS	США, Westinghouse Electric Company	Управление инвентаризацией сборок, отслеживание свойств топлива, отчеты национальному регулятору, Предназначены для PWR, BWR	Неизвестно	2010
FAR [3]	Словения, Институт Джожефа Стефана	Управление движением материалов ;создание отчетов для национального регулятора; разрабатывалась для АЭС Кржо	DOS, Windows	1997
Nuclear Materials Management and Safeguards System (NMMSS)	США	Программа разрабатывалась специально для национального регулятора с целью работы с ядерным материалом на уровне государства	Неизвестно	Неизвестно
Atomic Keeper [4]	Республика Беларусь, Applied Systems Ltd.	Управление движением топлива и их характеристиками; создание отчетов для национального регулятора и МАГАТЭ; работа с малыми количествами	Браузер	2019
АСУК ЯМ на Игналинской АЭС [5]	Россия, ЦНИИАтоминформ	Ведение учета и контроля ядерного материала при его получении, использовании, хранении, транспортировании; контроль материала и его изменение; формирование отчетов для национального регулятора	Windows	1992
SIMRS	Соединенное королевство	Ведение учета и контроля ядерного материала при его получении, использовании, хранении, транспортировании; контроль материала и его изменение; формирование отчетов для национального регулятора и МАГАТЭ	Windows	2020
Euratom Nuclear Material Accountancy System	Европейский союз	Предназначена для работы по учету и контролю ЯМ на уровне ЕС и создания отчетов для регулятора и МАГАТЭ. Поддержка Дополнительного Протокола	Windows	2004

На основании данных из таблицы можно сделать вывод, что существует не так много систем, которые были выпущены после 2000 годов. Это объясняется тем, что каждая АЭС или лаборатория сама разрабатывала свою систему учета и контроля. Это же объясняет и то, что так мало систем, в которых могут работать как предприятия, так и национальный регулятор, как например NUCMAT. Также можно

выделить тенденцию, особенно для ядерных держав (США и Россия, если смотреть по таблице), создание собственных систем, как для уровня объекта, так и для государственного уровня.

Большинство программ позволяют создавать отчеты для государственного регулятора и некоторые для МАГАТЭ, отслеживать перемещение и изменение топлива на блоке.

Не многие программы, Atomic Keeper и ИАС “Топливо”, АС УиК ЯМ АЭС “Бушер”, позволяют создавать картограммы блоков и учет операций, проведенных над учетными единицами.

Однако, т.к. информационные технологии непрерывно развиваются, поддержание работоспособности некоторых старых систем УиК становится все более сложной задачей, а порой и невыполнимой. В частности система FAR, используемая на АЭС Крко, использует старые версии Windows или DOS.

Так же изменяются и ужесточаются требования к информационным системам. Особенно это касается:

1. Защиты чувствительной информации в части хранения и передачи;
2. Обеспечение кибербезопасности в рамках общей атомной безопасности.

Отметим задачи, которые в большинстве не покрыты существующими системами УиК.

Отдельной задачей для учета и контроля является работа с пломбами, контейнерами и стрелками управления. При работе по приемке топлива могут утилизироваться, устанавливаться, десятки пломб, так же пломбы ставятся на активную зону, чехлы, стеллажи. Так же на все это оборудование и действия так же пишутся документы.

Так же, система должна хранить не только историю учетных единиц, но и историю ячеек и оборудования на блоке. Зная актуальную информацию о состоянии ячеек и их историю действий, производимых над ячейками, можно более качественно планировать работу на блоке.

В заключении можно сказать, что большинство существующих информационных систем УиК ЯМ, являются достаточно старыми и зачастую неподдерживаемые. Не многие современные системы полностью позволяют решать все задачи учета и контроля, которые можно решить используя информационные технологии.

Таким образом, актуальной задачей в сфере УиК ЯМ является разработка информационной системы, которая бы полностью позволила автоматизировать процесс работы с топливом на блоке а не только показывать ее перемещение, изменение и подготовку отчетов соответствующим органам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов / Э.Ф. Крючков [и др.]. – Москва : МИФИ, 2007. – 544 с.
2. NUCMAT [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nucmat.com> (дата обращения: 01.03.2021).
3. FAR [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ijs.si/~slavic/far.html> (дата обращения: 01.03.2021).
4. Atomic Keeper – Automated nuclear material account and control system [Электронный ресурс] : Applied systems. – URL: <http://www.appsys.net/en/products/atomickeeper> (дата обращения: 01.03.2021).
5. Кузнецов, В. Н. Учет и контроль ядерных материалов на Игналинской АЭС [Электронный ресурс] / В. Н. Кузнецов, С. Г. Монахов // Dysnai-2000.– URL: <http://www.dysnai.org/Reports/2000-2004/2000/4.pdf>. (дата обращения: 01.03.2019).

МАЛАЯ ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ LOW NUCLEAR POWER FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

О. Э. Муратов
O. E. Muratov

Общественный совет Госкорпорации «Росатом», Москва, Россия
oleg@twell.ru

Public Council of State Atomic Energy Corporation, Moscow, Russia

Ужесточение природоохранного законодательства требуют создания экологически чистых, стабильных источников энергии, которыми могут стать атомные станции малой мощности. Главными требованиями к реакторам для малых атомных станций являются минимальное воздействие на окружающую среду, повышенная надежность и минимальное обслуживание. Концепция применения реакторных установок для малых станций предусматривает изготовление и испытание энергоблоков в заводских условиях, работу без перегрузки топлива в течение длительного времени и отсутствие на площадке хранения свежего и отработавшего топлива. Атомные станции малой мощности, создаваемые в регионах с децентрализованным энергообеспечением, неразвитыми сетями и на островных территориях, обеспечат помимо производств электроэнергии и неэлектрические применения, такие как опреснение, производство водорода и др.

The tightening of environmental legislation requires the creation of environmentally friendly, stable energy sources, which can become low-power nuclear power plants. The main requirements for reactors for small nuclear

power plants are minimal environmental impact, increased reliability and minimal maintenance. The concept of using reactor installations for small stations provides for the manufacture and testing of power units in factory conditions, operation without fuel overload for a long time and the absence of fresh and spent fuel on the storage site. Low capacity nuclear power plants created in regions with decentralized energy supply, undeveloped networks and on island territories will provide, in addition to electricity production, non-electric applications such as desalination, hydrogen production, etc.

Ключевые слова: энергоблок, энергообеспечение, малый модульный реактор, моноблок, ядерное топливо, системы безопасности, неэлектрические применения, лицензирование.

Keywords: power unit, power supply, small modular reactor, monoblock, nuclear fuel, safety systems, non-electrical applications, licensing.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-219-223>

Глобализация, урбанизация, рост населения, и ужесточение природоохранного законодательства требует создания эффективных экологически чистых источников энергии. Сокращение выбросов CO₂, значительные колебания цен на природный газ, нестабильность солнечной и ветровой энергетики делает преимущества ядерной энергетики очевидными, поэтому в мире растет интерес к реакторам малой и средней мощности благодаря их способности удовлетворять потребность в стабильном производстве электроэнергии и возможности работать автономно и удаленно от крупных энергетических сетей.

Атомные станции малой мощности (АСММ) являются оптимальным вариантом для удовлетворения потребности в гибком производстве электроэнергии и тепла для различных пользователей и неэлектрических применений и обеспечат стабильное и экологически чистое энергообеспечение потребителей на отдаленных и островных территориях. Малые реакторы, устанавливаемые на одноблочных или многоблочных станциях, идеально подходят для замены загрязняющих окружающую среду энергоисточников на органическом топливе, мощность подавляющего большинства которых не превышает 500 МВт, а также для сочетания с возобновляемыми источниками энергии, обеспечивая базовую нагрузку.

С момента появления в 1954 г. первой атомной электростанции (АЭС) мощности энергетических реакторов возросли с 50 до 1600 МВт, и долгое время считалось, что для АЭС необходимы только реакторы мощностью 1000 и более МВт. Реакторы мощностью в десятки и сотни МВт использовались, главным образом, на подводных лодках, кораблях и судах, космических аппаратах, в качестве исследовательских установок и как промышленные реакторы для наработки оружейных ядерных материалов.

Согласно классификации МАГАТЭ, к малым относятся реакторы электрической мощностью до 300 МВт, и формально под эту категорию попадает около 30 % действующих в мире энергоблоков (ЭБ). Это реакторы ЭГП-6 на Билибинской АЭС в России, большинство действующих в Индии АЭС с реакторами PHWR-220 и др. Такой уровень мощности был обычным для всех типов реакторов первых поколений – легководные (ВВЭР, PWR), кипящие (BWR), британские газоохлаждаемые GCR и другие модели.

Но помимо мощности МАГАТЭ определяет малые ЭБ, как состоящие из модулей, предназначенных для серийного строительства, которые перед доставкой и монтажом на площадке серийно изготавливаются и испытываются на заводе. Они именуются «малые модульные реакторы (ММР)». Кроме заводского изготовления для ММР разработана концепция использования, эксплуатации и вывода из эксплуатации, подходы к организации строительства и особая компоновка основного оборудования [1]. Главными требованиями к ММР для атомных станций малой мощности (АСММ) являются повышенная надежность и минимальное обслуживание вплоть до полной автономности, а также минимальное воздействие на окружающую среду.

По сравнению с действующими реакторами для ММР предусмотрена интегральная компоновка оборудования, при которой активная зона, парогенератор, компенсатор давления и др. собраны в едином корпусе – моноблоке. Максимальная автоматизация управления реактором и концепция безопасности основана на пассивных системах, таких как естественная циркуляция, конвекция, гравитация не требует для его отключения вмешательства оператора или внешней энергии.

Для АСММ предусмотрены увеличенный интервал перезарядки реактора (от 5 до 10 лет) и отсутствие на площадке длительного хранения свежего и отработавшего ядерного топлива, а также радиоактивных отходов. Значительно упрощена процедура вывода из эксплуатации АСММ: после выработки ресурса ЭБ демонтируется и вывозится на специализированное предприятие. На площадке не проводятся ядерно- и радиационно-опасные работы, и она готова для размещения нового ЭБ, а при отсутствии необходимости в энергоисточнике на площадке требуются минимальные работы по реабилитации.

Впервые реакторы, практически удовлетворяющие концепции МАГАТЭ для ММР, были созданы в США по Армейской ядерно-энергетической программе, утвержденной в 1954 г. для энергообеспечения отдаленных труднодоступных военных объектов [2]. Программой предусматривалось разработка и создание малогабаритных реакторов разных типов (легководные с водой под давлением и корпусные кипящие) для выработки электроэнергии и тепла, и перед проектантами ЭБ были поставлены задачи:

- транспортабельность любыми видами транспорта, включая воздушный;
- быстрый монтаж и пуск на площадке;
- эксплуатация в экстремальных природных условиях.

Первым таким реактором, разработанным в Ок-Риджской национальной лаборатории, был реактор SM-1 (рис. 2) мощностью 2 МВт(э). Это был легководный реактор с водой под давлением, в котором использовалось высокообогащенное (93 %) оксидное урановое топливо. Построенный за 18 месяцев на территории военной базы «Форт Бельвуар» реактор был введен в эксплуатацию в апреле 1957 г. за несколько месяцев до пуска первой американской коммерческой АЭС «Шиппингпорт».

Кроме энергообеспечения военной базы реактор SM-1 использовался в качестве учебного центра для подготовки оперативного персонала ядерных установок армии и флота и был испытательным стендом для проектирования реакторов малой мощности. Реактор эксплуатировался в течение 16 лет. За время его работы дважды производилась замена активной зоны, и за три кампании было израсходовано 72,7 кг ядерного топлива. Окончательно остановлен реактор был в 1973 г.

Всего по Армейской ядерно-энергетической программе США в период 1957-1967 гг. было построено восемь реакторов разных видов. Реактор ML-1 с газовой турбиной размещался на грузовом автомобиле и не имел защиты, т.к. во время работы персонал должен был находиться на расстоянии 150 м. Реактор MH-1 мощностью 10 МВт(э) был размещен в средней части сухогруза постройки 1945 г., у которого была демонтирована гребная установка. Плавучая АЭС «Sturgis» эксплуатировалась в течение 10 лет в зоне Панамского канала. Во всех реакторах, кроме MH-1, использовалось высокообогащенное топливо (93 %). Последний из реакторов (MH-1), построенных по программе был остановлен в 1976 г.

Реакторы для транспортабельных АЭС были построены и в СССР [3]. Первой такой станцией была разработанная в ФЭИ ТЭС-3 с корпусным водо-водяным реактором мощностью 1,5 МВт(э), в котором использовалось интерметаллидное топливо UAl_3 с обогащением 36 %. ТЭС-3 размещалась на четырех самоходных транспортерах на гусеничном ходу на базе тяжелого танка Т-10. Станция предназначалась для энергоснабжения гражданских и военных объектов в отдаленных районах Крайнего Севера и Сибири. Ее пуск состоялся в 1961 г., опытная эксплуатация продолжалась более пяти лет, и в 1967 г. ТЭС-3 была остановлена.

Другая передвижная АЭС «Памир-630Д» мощностью 0,63 МВт(э) была создана в Институте ядерной энергетики АН БССР (ныне ИЯЭИ «Сосны»). Использование станции предполагалось в экстремальных климатических условиях при температурах от -50 до $+35$ °С, поэтому для нее был специально разработан реактор с диссоциирующим теплоносителем на основе тетраоксида диазота (N_2O_4). Это вещество, обладающее высокими теплоемкостью, теплопроводностью и плотностью при низкой вязкости, позволило сделать реактор одноконтурным, что обеспечивало его компактность. Главными проблемами, которые было необходимо решить при применении тетраоксида диазота, были его высокие коррозионная агрессивность и реакционная способность – при контакте с влагой образуется азотная кислота.

Для транспортировки использовались специально разработанные два тяжелых тягача МАЗ-7960 с полуприцепами МАЗ-9994 и было изготовлено два ЭБ. Первый предназначался для испытаний в полевых условиях, а второй в качестве лабораторного стенда. Пуск первого ЭБ состоялся в 1985 г., и в ходе испытаний, продолжавшихся около года, его дважды выводили на проектную мощность. Общая наработка на разных режимах нагрузки составила 3500 часов, но на фоне Чернобыльской аварии испытания приостановили, и проект был закрыт.

По опыту создания и эксплуатации АСММ были получены практические результаты, которые легли в основу концепций и проектов блочно-транспортабельных АСММ с реакторами интегральной компоновки позволила уточнить основные научно-технические принципы проектирования АЭС для отдаленных районов. На фоне стабильного спроса на электроэнергию, а также возросшего запроса на энергетическую безопасность и низкоуглеродную энергетику использование ММР с учетом опыта эксплуатации малых атомных ЭБ является обоснованной и экономически оправданной.

Оценивая конкурентоспособность АСММ по сравнению с АЭС мощностью более 1000 МВт и иными видами генерации следует подчеркнуть, что производство электроэнергии во многих случаях не является их основным назначением. ММР идеально подходят для производства бытового тепла и технологического пара, опреснения, очистки сточных вод, производства водорода, а сбросное низкопотенциальное тепло АСММ – для создания биокомплексов.

Ввиду малой единичной мощности ЭБ капитальные затраты на создание АСММ значительно меньше затрат для блоков-миллионников, и при относительно малых капитальных затратах на строительство каждого ЭБ при необходимости возможно поэтапно наращивать суммарную мощность АЭС, добавлением новых ЭБ на готовой площадке. Кроме того, заводское изготовление ММР с одновременной подготовкой площадки значительно сокращает сроки создания АСММ.

Сравнительно малые массогабаритные характеристик ММР позволяют размещать их в подземном пространстве, что является важным фактором с точки зрения обеспечения безопасности. Толща земной породы является естественным контейнментом для защиты ЭБ от техногенных воздействий.

По сравнению с традиционными станциями АСММ могут занять свою долю в диверсифицированном энергобалансе территорий и работать при отсутствии подключения к энергосетям. Технические характеристики ММР позволяют размещать станцию вблизи любого крупного потребителя, что позволит расширить области использования ЯЭ, включив те применения, где ядерно-энергетические технологии не используются. АСММ особо привлекательны для вступающих в ядерный клуб стран-новичков, которые не обладают достаточными инфраструктурой и компетенциями.

Признавая эффективность использования малых атомных ЭБ для обеспечения надежного безопасного экологически чистого энергообеспечения, МАГАТЭ уделяет большое внимание созданию ММР, как перспективному

направлению ЯЭ. Для координации действий по реализации проектов ММР создан центр координации по всем аспектам разработки, развертывания и применения ММР в электрической и неэлектрической сферах. Рабочая группа по ММР (ТРГ-РМСМ/ММР) и форум регулирующих органов по ММР, работающие в центре, являются площадкой для обмена опытом по разработке и будущему развертыванию ММР.

В рамках национальных и международных программ развития малой ЯЭ во многих странах на разных стадиях разработки находится около 70 проектов и концепций ММР, предназначенных для энергетических и неэлектрических применений [4]. Они включают не только основные типы реакторов: легководные с водой под давлением и кипящие, тяжеловодные, газоохлаждаемые и на быстрых нейтронах, но и различные варианты их размещения – наземное, подземное, плавучее и подводное. Подавляющее большинство ММР представляют только концептуальные проекты, в не более десяти проработки близки к рабочей документации, а начавшие процедуру лицензирования – единицы.

В настоящее время единственной действующей в мире АСММ является плавучая АЭС «Академик Ломоносов» с двумя реакторами КЛТ-40С суммарной электрической мощностью 70 МВт и 50 Гкал/ч тепла. Реактор КЛТ-40С, использующий для решения вопроса нераспространения топлива с обогащением 19,6 %, является аналогом эксплуатируемых на атомных ледоколах реакторов КЛТ-40, адаптированном для работы АЭС. Основное оборудование ЭБ, включая реактор, паротурбинную установку и электроэнергетическую систему, унифицировано с образцами, прошедшими многолетнюю проверку на надежность в жестких условиях эксплуатации на атомных ледоколах, характеризующихся качкой, ударными нагрузками, скоростью и частотой изменения мощности.

В опытно-промышленной эксплуатации находится китайский ЭБ с двумя высокотемпературными реакторами НТР-РМ с гелиевым охлаждением и температурой пара на выходе 750 °С. В ЭБ два реактора соединены с одной турбиной мощностью 210 МВт(э). Топливо для реактора – шаровые ТВЭЛы с обогащением 8,5 %, диспергированные в графитовой матрице. Топливная загрузка состоит из смеси UO_2 , UC_2 и UCO , но проектом рассматривается возможность использования тория или плутония. ЭБ предназначен для выработки высокотемпературного пара и поставки электроэнергии, и проектный срок службы составляет 60 лет.

В стадии строительства находятся реактор CAREM-25 (Аргентина) и АСП-100 (Китай) мощностью 27 и 100 МВт(э), соответственно. Оба проекта базируются на использовании хорошо освоенной технологии водо-водяных реакторов и являются интегральными ММР с естественной циркуляцией теплоносителя, содержит пассивные и простые активные системы безопасности. Как во всех реакторах такого типа в них используется оксидное топливо с обогащением 4,2 %. Реактор CAREM-25 создается как прототип для проверки технических решений для будущей коммерческой версии CAREM мощностью до 300 МВт(э). Особенностью АСП-100 является расположение реактора и бассейна выдержки ОЯТ ниже уровня земли, на отрицательных отметках, что повышает эффективность защиты от внешних воздействий и снижает выброс радиоактивных материалов при аварии.

В России начата подготовка к строительству в Якутии АСММ с реактором РИТМ-200Н мощностью 55 МВт(э), созданном на базе серийно выпускаемых реакторов РИТМ-200, успешно эксплуатируемых на ледоколах «Арктика» и «Сибирь» [5]. В реакторе РИТМ-200Н будет использоваться интерметаллидное топливо с обогащением 19,6 %, топливная кампания составит шесть лет, а количество образующихся за шесть лет жидких радиоактивных отходов составит 20 т.

В отличие от зарубежных ММР, которые строятся на площадках действующих АЭС станция, предназначенная для энергообеспечения золоторудного месторождения и близлежащих поселков, будет автономной и будет строиться в сложных географических и климатических условиях, где годовые температуры колеблются от –60 до +35 °С.

На АСММ не предусмотрено длительного хранения ОЯТ и РАО. В спецкорпусе на площадке станции будет только временное хранение ОЯТ до его отправки на переработку и кондиционирование РАО, которые будут вывозиться для передачи Национальному оператору. Для снижения расхода воды предусмотрена система оборотного водоснабжения с использованием для охлаждения сухих градирен. На площадке проведены геологические изыскания, в 2022 г. будет получена лицензия на размещение ЭБ, и ввод станции запланирован в 2028 г.

Из зарубежных проектов готов к реализации и лицензированию Корейским регулятором реактор SMART мощностью 90 МВт(э) и обладающий возможностью по опреснению до 40 тыс. т воды в сутки. Разработанный корпорацией KAERI реактор SMART интегральной компоновки с пассивной системой отвода остаточного тепла создан по легководной технологии водо-водяных реакторов. Главной задачей для реализации проекта является поиск заказчика для строительства ЭБ, т.к. в Корее развитая сетевая инфраструктура и отсутствуют потребители ММР.

На рассмотрении в NRC (регулирующий орган США) находится реактор NuScale мощностью 60 МВт(э), разработанный Национальной лабораторией Айдахо и Орегонским университетом. NuScale, также основанный на технологии водо-водяных реакторов, представляет собой интегральный ММР с естественной циркуляцией теплоносителя и использованием пассивных систем безопасности. Проектный срок службы – 60 лет. В реакторе используется оксидное топливо с обогащением 4,95 %, топливная кампания – 24 месяца.

Рассматривая действующие, строящиеся и многочисленные проекты ММР показывают, что отсутствуют какие либо технические ограничения по их масштабному строительству и во многих странах развиваются практические шаги по созданию ММР, в том числе не только для энергетических применений. Использование ММР в конкретной стране или регионе определяется анализом их преимуществ по сравнению с конкурентными энергоисточниками.

ЛИТЕРАТУРА

1. IAEA-TECDOC-1652 Small Reactors without On-site Refuelling: Neutronic Characteristics, Emergency Planning and Development Scenarios. – Vienna, IAEA, 2010. – 96 p.
2. Quarterly Progress Report to the Joint Committee on Atomic Energy, April-June 1958, U.S. Atomic Energy Commission.
3. *Сергеев Ю.А.* О малой ядерной энергетике / История атомной энергетике Советского Союза и России в 5 вып. / Под ред. В.А. Сидоренко: - Вып.5, История малой ядерной энергетике, М. ИздАТ, 2004, с. 5–21.
4. Advances in small modular Reactor Technology Developments. – Vienna, IAEA, 2020. – 354 p.
5. *Мурашов О.Э.* АЭС малой мощности в Якутии // Атомная стратегия XXI. – 2020. – № 180. – С. 10–12.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ ПО ДЫХАНИЮ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

APPLICATION OF RESPIRATORY GATING SYSTEMS FOR DIAGNOSIS AND TREATMENT OF ONCOLOGICAL DISEASES

Я. Э. Ермольчик^{1,2}, Т. С. Чикова^{1,2}, Е. В. Емельяненко^{1,2}, М. Н. Петкевич^{1,2}
Y. Yarmolchik^{1,2}, T. Chikova^{1,2}, E. Emelianenko^{1,2}, M. Piatkevich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

kfm@iseu.by, cookiebad@outlook.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Системы синхронизации по дыханию успешно применяются для диагностики и лечения онкологических заболеваний. Их применение увеличивает точность при проведении лучевой терапии, что особенно важно при подведении высоких доз к раковым опухолям, как это происходит при стереотаксической лучевой терапии. Применение систем синхронизации по дыханию совместно с КТ позволяет более точно определить положение опухоли и очертить ее границы, что снижает погрешность при дальнейшем лечении посредством лучевой терапии. Системы синхронизации по дыханию используют при лечении опухолей левой молочной железы, так как их применение снижает дозовую нагрузку на сердце.

Respiratory gating systems are successfully used for the diagnosis and treatment of oncological diseases. Their use increases the accuracy of radiation therapy, which is especially important when delivering high doses to cancerous tumors, as is the case with stereotactic radiation therapy. The use of respiratory gating systems in cooperation with CT allows you to more accurately determine the position of the tumor and outline its boundaries, which reduces the error in further treatment with radiation therapy. Respiratory gating systems are used in the treatment of tumors of the left breast, since their use reduces the dose load on the heart.

Ключевые слова: респираторный гейтинг, лучевая терапия, 4D КТ, 4D МРТ, 4D КТ артефакты.

Keywords: respiratory gating, radiation therapy, 4D CT, 4D MRI, 4D CT artifacts.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-223-226>

Системы синхронизации по дыханию позволяют учесть дыхательные движения пациента при проведении диагностических и терапевтических процедур. Их применение целесообразно в тех областях, где от дыхательных движений пациента зависит эффективность проведения процедуры. Для компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии и лучевой терапии целесообразность их применения состоит в том, что дыхательные движения пациента могут оказывать существенное влияние на положение его внутренних органов. Применение систем синхронизации по дыханию позволяет увеличить точность диагностических процедур и наиболее правильно спланировать дальнейшее лучевое лечение пациента, а также сделать сеансы лучевой терапии более безопасными для здоровых органов и тканей, располагающихся вблизи облучаемой области.

Респираторный гейтинг, является одним из наиболее широко применяемых методов при лечении раковых опухолей, положение которых подвержено изменению при дыхательных движениях пациента. К таким опухолям в частности относятся опухоли молочной железы. Наиболее целесообразно применение респираторного гейтинга

при лечении опухолей левой молочной железы, т.к. при облучении данной области часть дозовой нагрузки приходится на сердце. Доза, получаемая сердцем, значительно снижается за счет того, что легочная ткань на высоте фиксированного вдоха отодвигает сердце от зоны высокой дозы. Применение данной методики позволяет снизить дозовую нагрузку не только на сердце, но и в левой передней нисходящей ветви коронарной артерии, уменьшить объем облучаемой ткани [1]. Дыхательные движения пациента могут смещать положение облучаемой области на расстояние до двух сантиметров, в зависимости от облучаемой области. При планировании лучевой терапии с применением метода с задержкой на вдохе это смещение учитывается. При проведении самой процедуры лучевой терапии облучение происходит только в определенном фиксированном при планировании интервале в дыхании пациента.

Респираторный гейтинг совместно с компьютерной томографией применяется для точной компенсации движения опухоли в процессе планирования. В иностранной литературе такая технология носит название 4D CT. На рис. 1 показано как может отличаться положение опухоли брюшной полости в зависимости от фазы дыхания в фронтальной и аксиальной проекциях. На данном обозначен GTV (gross tumor volume), это видимый или общий объем опухоли. Также помимо 4D CT в медицине применяется 4D MRI или 4D MPT (магнитно-резонансная томография). Сейчас 4D MRI является новым направлением. По сравнению с 4DCT, 4D MRI обеспечивает лучшую пространственную визуализацию мишеней лучевой терапии в области живота и таза с улучшенной визуализацией движения мягких тканей. Успешное внедрение 4D MRI требует интеграции оптимизированных протоколов сбора данных, передовых методов реконструкции изображений и достаточных аппаратных возможностей.

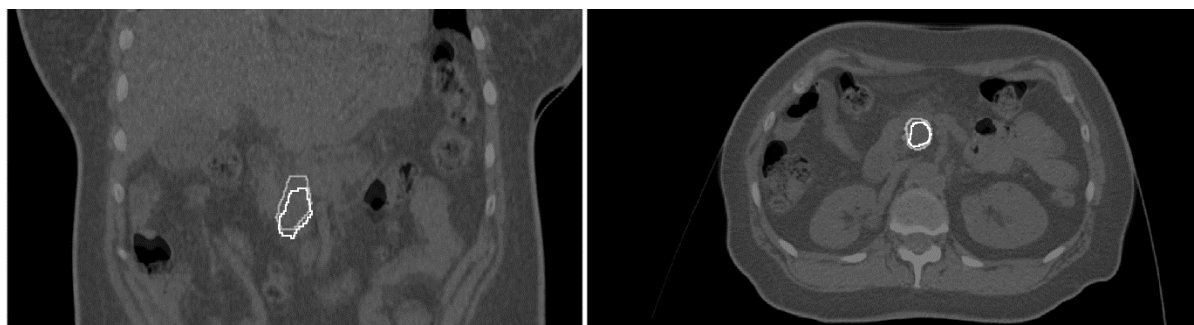


Рисунок 1 – Фронтальный и аксиальный виды дыхательных фаз конца выдоха (серый) и конца вдоха (белый) с соответствующими контурами GTV [2]

Система синхронизации по дыханию, а конкретно система RPM (Real-time Position Management) состоит из инфракрасного источника, блока с двумя маркерами, отражающими инфракрасное излучение, ПЗС-камеры (ПЗС – прибор с зарядовой связью), монитора для позиционирования камеры и консоли, на которой след дыхания визуализируется. Также сейчас актуальна система под названием RGSC (Revolutionary Gating for SScanners). У RGSC принцип работы и основные составляющие те же, однако по сравнению с RPM обновлено аппаратное и программное обеспечение.

Применение систем синхронизации по дыханию совместно с КТ и при проведении сеансов лучевой терапии влечет за собой некоторые дополнительные трудности. Дыхание пациента не всегда бывает равномерным и достаточно глубоким, особенно это актуально в условиях пандемии COVID-19. Перед проведением процедур с применением систем синхронизации по дыханию лечащий врач должен проводить с пациентом инструктаж по поводу того, как правильно дышать во время процедуры. Пациент, в свою очередь, обязуется тренировать свое дыхание, его равномерность и правильное положение грудной клетки при входе. Таким образом мы видим, что проведение процедур с применением респираторного гейтинга накладывает на врача и пациента дополнительные обязанности.

При проведении компьютерной томографии совместно с системой синхронизации по дыханию возможно появления артефактов на полученных изображениях. Природа их появления – это несовпадение периода дыхания пациента с периодом, установленным программно при подготовке к процедуре, а также неравномерное дыхание пациента. Пример такого артефакта можно увидеть на рис. 2.

Стереотаксическая лучевая терапия или Stereotactic body radiation therapy (SBRT), применяется на данный момент как предпочтительный метод лечения рака легких на ранней стадии. При проведении стереотаксической лучевой терапии высокая доза облучения, от 50 до 60 Гр, доставляется к опухоли небольшим количеством фракций, порядка 4, 5. Окружающие здоровые ткани меньше подвергаются воздействию радиации за счет использования узких полей и резких градиентов дозы. Использование узких полей возможно за счет сочетания хорошей фиксации пациента, ежедневного визуального контроля мягких тканей и учетом дыхательных движений пациента. Стереотаксическая лучевая терапия может применяться и только в сочетании с хорошей фиксацией пациента и ежедневным визуальным контролем, без управления дыхательными движениями пациента. Однако респираторно индуцированное движение опухоли является ограничивающим фактором при доставке высокой дозы к опухолям в грудном и брюшном отделе.

Применение респираторного гейтинга совместно со стереотаксической лучевой терапией является предпочтительным вариантом по ряду причин. Одной из таких причин является максимальное разделение между общим объемом опухоли (GTV) и близлежащими критическими структурами. На рисунке 3 приведены результаты стереотаксической лучевой терапии. GTV опухоли первой недели обрисован белым контуром. По данным снимкам можно сказать, что имеет место значительный регресс объема опухоли.

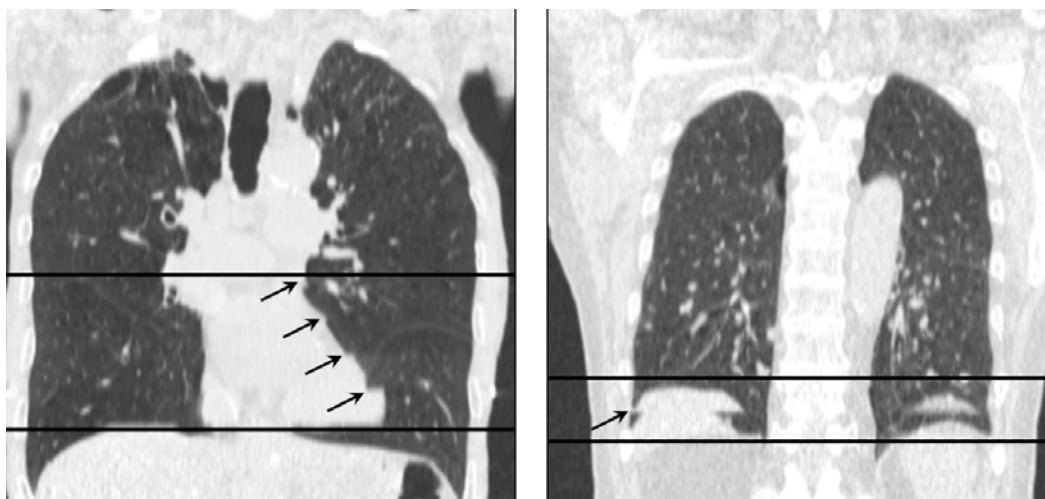


Рисунок 2 – Артефакты изображений полученные при проведении процедуры КТ совместно с системой синхронизации по дыханию [3]

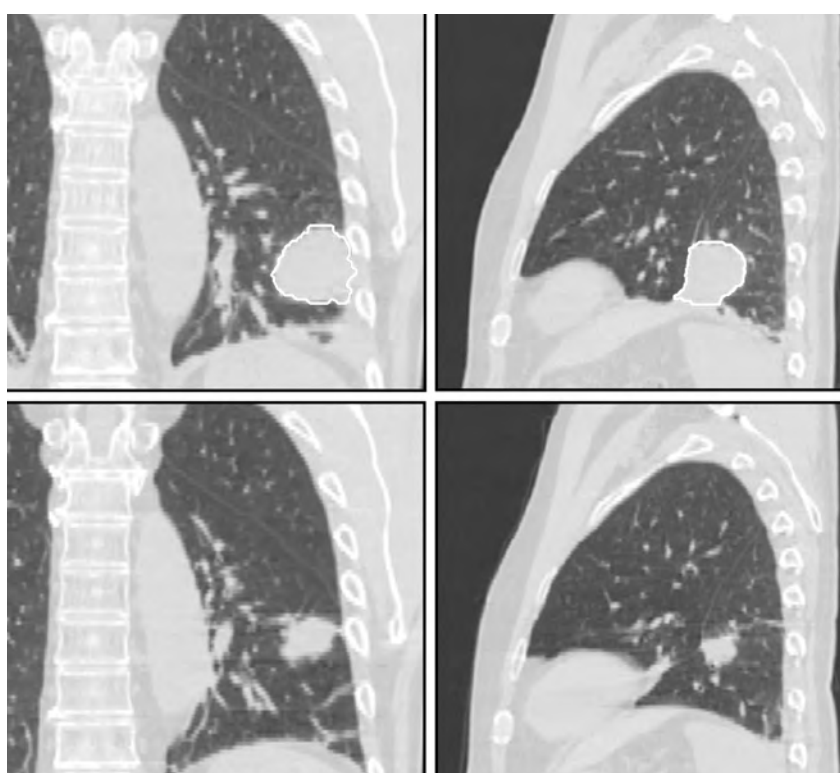


Рисунок 3 – КТ-изображения с задержкой дыхания на первой (верхние изображения) и последней (нижние изображения) неделе [4]

Как видно из рисунка 3, стереотаксическая лучевая терапия весьма эффективный метод лечения. Применение ее совместно с технологией респираторного гейтинга увеличивает ее точность, что приводит к более эффективному лечению и к меньшему повреждению окружающих здоровых тканей.

Метод задержки дыхания на глубоком вдохе или Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) стала стандартным методом фотонной лучевой терапии для лечения рака левой молочной железы. Преимущество лучевой терапии совместно с DIBH для лечения данного типа рака в последние годы было многократно подтверждено различными исследованиями, описывающими снижение риска осложнений за счет более низких полученных сердцем и легкими. Метод задержки дыхания на глубоком вдохе включает вдох и задержку дыхания пациента во время проведения компьютерной томографии для получения как геометрического разделения между сердцем и стенкой грудной клетки, так и увеличения объема легких во время сканирования. Планирование продолжается на изображении на задержке дыхания, чтобы получить приемлемое дозиметрическое покрытие опухоли при минимальном воздействии на окружающие здоровые ткани.

Дальнейшее лечение, совместно с методом задержки дыхания на глубоком вдохе, выполняется путем обучения пациента выполнять задержку дыхания, аналогичную той, что он выполнял ранее при симуляции

компьютерной томографии, во время каждого сеанса лечения. Точность и стабильность задержки дыхания во время лечения определяет степень соответствия дозиметрического охвата теоретическому запланированному охвату в системе планирования лечения.

При проведении сеансов лучевой терапии совместно с методом задержки дыхания на глубоком вдохе, возникают следующие проблемы, обусловленные уровнем подготовки пациента к процедуре. Пациентам бывает трудно задерживать дыхание на комфортные для проведения процедуры интервалы времени. Также могут возникнуть трудности с попаданием в нужный интервал по амплитуде вдоха и удерживании грудной клетки в нужном положении. Часто возникновение данных проблем связывают с недостаточной подготовкой пациента к процедуре. Чтобы процесс лечения проходил быстро и комфортно для пациента, ему необходимо тренировать дыхание заранее. Как показывает практика, ближе к последним сеансам лучевой терапии, пациенты справляются лучше, что доказывает, что тренировки дыхания и опыт, который пациент получил на предыдущих сеансах лучевой терапии с применением данного метода, дают эффект.

Показателем успешности лучевой терапии, является не только достижение ответа опухоли на лечение, но и сохранение окружающих опухоль здоровых органов и тканей. Современные технологии, такие как система синхронизации по дыханию, в применении совместно с лучевой терапией, уменьшают вероятность появления постлучевых осложнений. Применение системы синхронизации по дыханию позволяет избежать тяжелых радиационно-индуцированных осложнений сердца. Из информации, представленной выше, можно сделать вывод, что использование систем синхронизации по дыханию благотворно влияет на точность диагностических процедур при подготовке к лучевой терапии, и на эффективность самой лучевой терапии, а также уменьшает риск развития постлучевых осложнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лучевая терапия больных раком левой молочной железы I-IIА стадий после органосохраняющих операций / И. А. Гладилина [и др.] // Злокачественный опухоль – 2017. – № 4. – С. 5–12.
2. Investigating the use of virtual 4DCT from 4DMRI in gated carbon ion radiation therapy of abdominal tumors / G. Meschini [et al.] // Z Med Phys – 2022. – Vol. 32. – P. 98–108.
3. 4D CT image artifacts affect local control in SBRT of lung and liver metastases / T. Sentkern [et al.] // Radiotherapy and Oncology – 2020. – Vol. 148. – P. 229–234.
4. Anatomic and pathologic variability during radiotherapy for a hybrid active breath-hold gating technique / C. Glide-Hurst [et al.] // Radiation Oncology Biol. Phys – 2010. – Vol. 77. – No. 3. – P. 910–917.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ПЛАНОВ ОБЛУЧЕНИЯ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С МОДУЛЯЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

DOSIMETRIC VERIFICATION OF TREATMENT PLANS IN INTENSITY-MODULATED RADIATION THERAPY

А. И. Бринкевич¹, Т. С. Чикова^{2,3}, М. Н. Петкевич^{1,2,3}

A. Brynkevich¹, T. Chikova^{2,3}, M. Piatkevich^{1,2,3}

¹Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии
им. Н. Н. Александрова, а-г Лесной, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, БГУ

³Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
chikova.tamara@iseu.by

¹N. N. Alexandrov national cancer centre of Belarus, Lesnoy, Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU

³International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus
annabrijerry@gmail.com

Описан типовой процесс верификации планов облучения в лучевой терапии с модуляцией интенсивности. Рассмотрен наиболее простой способ сравнения дозовых распределений – наложение контуров дозовых распределений друг на друга, приведены его преимущества и недостатки. Описаны основные применяемые в клинической практике геометрии измерений для дозиметрической верификации планов облучения. Дано определение термину «гамма-анализ», а также критериям гамма-анализа – разности доз, критерию расстояния, степени прохождения сравнения по гамма-индексу. Приведены значения критериев гамма-анализа, используемые в отечественных клиниках и за рубежом.

A typical process for verification of treatment plans in radiation therapy with intensity modulation is described. The simplest way to compare dose distributions, i.e., superposition of contours of dose distributions on top of each other, is considered, its advantages and disadvantages are given. The main measurement geometries used in clinical practice for dosimetric verification of irradiation plans are described. The term “gamma analysis” is defined, as well as the gamma analysis criteria - dose difference, distance criterion, degree of comparison by the gamma index. The values of the gamma analysis criteria used in domestic clinics and abroad are given.

Ключевые слова: лучевая терапия, IMRT, VMAT, гарантия качества, верификация, EPID, гамма-анализ, доза, онкология, медицинская физика.

Keywords: radiation therapy, IMRT, VMAT, quality assurance, verification, EPID, gamma analysis, dose, oncology, medical physics.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-226-229>

Дозиметрическая верификация представляет собой последовательность процедур, необходимых для проверки IMRT и VMAT плана облучения пациента перед непосредственным облучением. Суть ее заключается в сопоставлении дозовых распределений и выявлении несоответствий. Наиболее распространённым методом сравнения является наложение контуров дозовых распределений друг на друга. Это достаточно быстрый и качественный метод анализа. Если распределения согласуются между собой в достаточной степени, контуры будут накладываться друг на друга, если нет – они будут разделены определённым расстоянием. Это расстояние зависит от двух факторов: разницы в численных значениях дозы и градиенте доз. Если градиент крутой – контуры сместятся незначительно, даже в случае большой разности в численных значениях дозы [1]. Поэтому сравнение контуров в областях резкого спада доз даёт мало информации о численных различиях, поскольку для значительного смещения изодоз относительно друг друга требуются большая разность в полученных дозах. С другой стороны, даже малые различия в измеренных значениях сильно сместят изодозы в областях со слабым градиентом [1]. Таким образом, единственные места, где контурные графики предоставляют достаточно точную информацию – это места пересечения или наложения изодоз. Если линии изодозы имеют одинаковые значения, то распределения совпадают точно в этих местах. Если пересекаются две разные линии изодозы, например, линия 50% от одного распределения и линия 60% от другого распределения, то в точке пересечения известна разница доз. В противном случае наложенные контуры дают мало количественной информации.

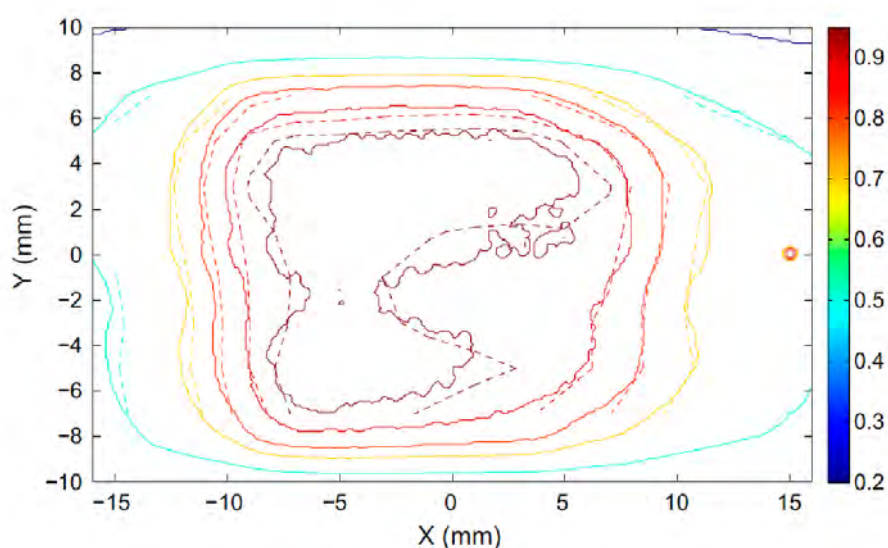


Рисунок 1 – Наложение изодоз двух измерений: сплошная линия от радиохромной пленки и пунктирная линия от заполненных жидкостью ионизационных камер [1]. Показанные изодозы: 20 %, 50 %, 70 %, 80 %, 90 % и 95 %

На рисунке 1 показан пример совмещённых изодоз [1]. Данные графические изображения представляют собой распределения, полученные при помощи радиохромной пленки и двумерной матрицы. Соответствие между этими двумя распределениями доз достаточно понятно, и показывает отсутствие больших расхождений, хотя разница в несколько процентов трудноопределима. На рисунке 2 показаны два значительно расходящихся изодозовых распределения, причём факт их несоответствия достаточно очевиден. В этом случае дополнительный количественный анализ численных значений может быть ненужным.

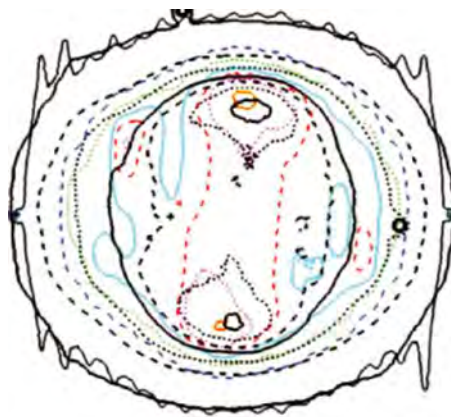


Рисунок 2 – Наложенное распределение изодозы для двух различных распределений дозы.

Тот факт, что распределения не совпадают, ясно видно из пересекающихся изодозовых линий, но количественная оценка несоответствия на глаз невозможна с использованием этого типа отображения [1]

Аналогично и с пространственными неопределённостями: на границе спинного мозга пространственная несогласованность в дозах не должна превышать 2 мм, в то время как для мышц допустима разбежка в 5 мм [2]. Однако, ввиду проведения измерений на геометрически упрощённых фантомах, запланированный флюенс, даже в случае отсутствия ошибок в расчёте и доставке дозы, не даст клинически верного дозового распределения. Даже если геометрически соотнести органы риска с моделью фантома, доза на них не будет соответствовать таковой в реальном пациенте из-за разницы в поглощении и рассеянии дозы фантомом и пациентом. Поэтому для проведения пациентоориентированной верификации доставки дозы следует руководствоваться более комплексными критериями и допусками для исследуемых областей дозовых распределений [3].

При проведении дозиметрической верификации могут быть использованы различные геометрии измерений, как показано на рисунке 3. Наиболее распространёнными методами в клинической практике являются: полное моделирование, перпендикулярное поочерёдное облучение и перпендикулярное моделирование. Для каждого из этих методов план пациента пересчитывается в геометрии фантома, существующего как физически, так и внутри системы планирования. Система дозиметрического планирования рассчитывает дозу в фантоме в той же геометрии, которая будет применяться для последующих измерений [2].

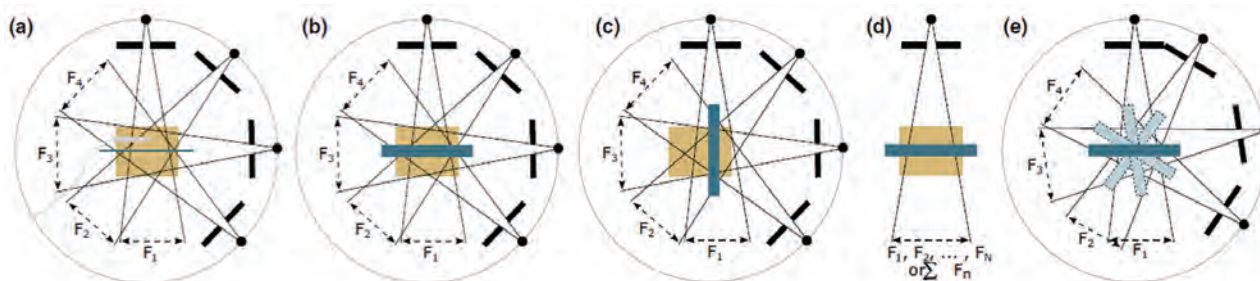


Рисунок 3 – (a) Полное моделирование в фантоме с ионизационными камерами, размещёнными на определенной глубине, и рентгенографической пленкой в корональной ориентации; (b) полное моделирование на стационарном устройстве 2D-матрицы, размещённом в корональной ориентации на столе для обработки; (c) Полное моделирование на стационарном устройстве 2D-матрицы, размещённом в сагитальной ориентации на столе для обработки; (d) перпендикулярное поочерёдное облучение или перпендикулярное моделирование на стационарном устройстве 2D-матрицы, размещённом в корональной ориентации на столе для обработки; (e) перпендикулярное поочерёдное облучение или перпендикулярное моделирование (PC) на устройстве 2D-матрицы, установленной на обрабатывающей головке

Метод полного моделирования имитирует доставку излучения пациенту. Пучки излучения доставляются на стационарное измерительное устройство или фантом, установленный на кушетке, с использованием фактических параметров лечения из плана пациента, включая дозу облучения, угол поворота гентри и коллиматора, углы поворота стола, положение створок и лепестков многолепесткового коллиматора. Этот метод чаще всего используется физиками, выполняющими плёночную дозиметрию, хотя в последнее время такая методика всё чаще используется для облучения фантомов с матрицами диодов или ионизационных камер [4,5]. При перпендикулярном поочерёдном облучении гентри фиксируется на 0 градусов для всех пучков, а коллиматор устанавливается в единое положение для всех полей (рис. 3(d)). Этот метод чаще всего используется с диодными или камерными матрицами, хотя плёнка и электронное устройство детектирования портальных изображений (далее EPID) также пригодны для подобных измерений [4,5]. Перпендикулярное моделирование практически полностью повторяет

методику поочерёдного облучения, за исключением лишь того факта, что в данном случае весь план будет доставлен в течении непрерывного процесса измерений. Т.е. будет получено единое интегральное изображение. Этот метод гораздо быстрее поочерёдной верификации[4,5]. Оборудование для измерений и методы анализа аналогичны предыдущей методике.

Основной процедурой в процессе гарантии качества плана лечения в высокотехнологичной лучевой терапии для конкретного пациента является дозиметрическая верификация плана с применением гамма-анализа. На первом этапе дозиметрической верификации на планирующей системе исходя из созданного медицинским физиком дозового распределения для облучения целевого объема создается специальный верификационный план, который затем отправляется на линейный ускоритель. Верификационный план содержит технические данные, необходимые для облучения на линейном ускорителе, а также эталонное дозовое распределение. Далее происходит облучение EPID верификационным планом, в следствие чего система планирования получает измеренное дозовое распределение, которое затем сравнивается с эталонным. Эта процедура сравнения проводится с использованием гамма-анализа. Цель гамма-анализа – рассчитать гамма-индекс, который отражает соответствие двух распределений, а именно смещение двух одинаковых точек относительно друг друга в запланированном и оцениваемом распределениях. Для корректного сравнения дозового распределения в гамма-анализе устанавливаются специальные критерии: разность доз и критерий расстояния. Разность доз в точке представляет собой числовую разницу между оцениваемой дозой и запланированной дозой в этом месте [1]. Критерий расстояния для точки в запланированном распределении определяется как кратчайшее расстояние между точкой в оцениваемом распределении дозы с такой же по значению дозы точкой в запланированном распределении[1]. Также устанавливается степень прохождения сравнения по гамма-индексу – процент точек, значение гамма-индекса в которых меньше или равно 1.

Значения гамма-индекса между 0 и 1 указывают на то, что сравнение прошло в соответствии с установленными критериями. Значения больше 1 означают наличие ошибки. Поскольку гамма-индекс – это смещение между двумя распределениями, и, по сути, радиус, проведённый между запланированной точкой и оцениваемым распределением, то критерием прохождения теста являются круг либо сфера в 1, 2 или 3-мерном пространстве дозового распределения соответственно [1]. Гамма-анализ сам по себе не позволяет однозначно интерпретировать полученные результаты. Наиболее эффективным способом оценки эффективности теста является изучение его поведения в двух экстремальных условиях: с градиентом дозы, близким к нулю, и с резким градиентом дозы.

В мировой практике используются общепринятые критерии гамма-анализа для лучевой терапии с модуляцией интенсивности вне зависимости от облучаемой локализации. Как правило критерий расстояния устанавливается равным 2 или 3 мм, а разность доз – 3% [2]. Для некоторых методик облучения, таких как стереотаксическая лучевая терапия, используются критерий расстояния, равный 2 или 1 мм, разность доз – 2% [2]. Степень прохождения по гамма-индексу – 95%. В ведущих онкологических центрах Республики Беларусь критерий расстояния и разность доз в лучевой терапии с модуляцией интенсивности также являются фиксированными для всех локализаций и составляют 3 мм и 3% соответственно [3]. В Республиканском научно-практическом центре онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова также используются указанные выше фиксированные критерии.

Обоснованность данных критериев связана с особенностями оборудования и методиками проведения верификаций в различных учреждениях, соответственно, даже при одинаковых критериях, в разных учреждениях качество проводимых процедур верификации будет отличаться. В связи с чем становится актуальным вопрос о целесообразности применения локальных [3], отличных от общепринятых, критериев гамма-анализа для более точной доставки дозы и, соответственно, более высокого уровня оказания медицинской помощи онкологическим пациентам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218 / M. Miften [et al.] // Medical Physics. – 2018. – Vol. 45, № 4. – P. 53–83. <https://doi.org/10.1002/mp.12810>.
2. Dosimetric verification of flattening filter free model based on TrueBeam accelerator using ArcCheck system / Y. Zhu [et al.] // Journal of Central South University. Medical sciences. – 2018. – Vol. 43, № 8. – P. 864–868. <https://doi.org/10.11817/j.issn.1672-7347.2018.08.007>
3. Бринкевич, А.И., Титович, Е.В., Петкевич, М.Н. Критерии оценки дозиметрической верификации планов облучения в лучевой терапии с модуляцией интенсивности / А.И. Бринкевич, Е.В. Титович, М.Н. Петкевич // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2020: environmental problems of the XXI century: материалы 20-й международной научной конференции, 21–22 мая 2020 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – Ч. 2. – С. 33–36.
4. Time dependent pre-treatment EPID dosimetry for standard and FFF VMAT / M. Podesta [et al.] // Physics in Medicine and Biology. – 2014. – Vol. 59, № 16. – P. 4749–4768. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/59/16/4749>
5. Effect of dose grid resolution on the results of patient-specific quality assurance for intensity-modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy / Chun M. [et al.] // Int. J. Radiat. Res. – 2020. – Vol. 18, № 3. – P. 521–530. <https://doi.org/10.18869/ACADPUB.IJRR.18.3.521>.

МАТРИЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

MATRIX IONIZING RADIATION DETECTORS USED IN RADIATION THERAPY

И. Н. Чуркова^{1,2}, М. Н. Петкевич^{1,2}, Т. С. Чикова^{1,2}

I. N. Chirkova^{1,2}, M. N. Petkevich^{1,2}, T. S. Chikova^{1,2}

¹*Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

²*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

kfm@iseu.by, cookiebad@outlook.com

¹*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

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

Лучевая терапия злокачественных новообразований способна вызвать у пациентов лучевые реакции и осложнения со стороны нормальных тканей. Главное требование к радиационной защите пациентов состоит в максимально возможном снижении дозы в нормальных органах и тканях, окружающих мишень. Другое требование к оказанию медицинских услуг высокого уровня качества – установление в клиниках системы гарантии качества лучевой терапии. В статье выполнен обзор современных матричных детекторов ионизирующего излучения, применяемые в лучевой терапии. Рассмотрен принцип работы матричных детекторов, получивших широкое применение на современных медицинских линейных ускорителях электронов. Показано, что важным этапом программы контроля качества лучевой терапии являются использование матричных детекторов для оценки дозового распределения в теле пациента, положения пациента на лечебном столе и при оценке дозиметрических параметров радиотерапевтического аппарата.

Radiation therapy of malignant neoplasms can cause radiation reactions and complications from normal tissues in patients. The main requirement for radiation protection of patients is the maximum possible dose reduction in normal organs and tissues surrounding the target. Another requirement for the provision of high-quality medical services is the establishment of a quality assurance system for radiation therapy in clinics. The article provides an overview of modern matrix detectors of ionizing radiation used in radiation therapy. The principle of operation of matrix detectors, which have been widely used on modern medical linear electron accelerators, is considered. It is shown that an important stage of the radiation therapy quality control program is the use of matrix detectors to assess the dose distribution in the patient's body, the patient's position on the treatment table and when evaluating the dosimetric parameters of the radiotherapy apparatus.

Ключевые слова: лучевая терапия, линейный ускоритель электронов, программа гарантии качества, детектор ионизирующего излучения, матричный детектор.

Keywords: radiation therapy, linear electron accelerator, quality assurance program, ionizing radiation detector, matrix detector.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-230-233>

Лучевая терапия злокачественных новообразований отличается от других видов медицинского облучения высокими значениями поглощенной дозы, способными вызвать у пациентов как стохастические, так и детерминированные эффекты – лучевые реакции и осложнения со стороны нормальных тканей. В отличие от диагностического облучения пациентов в лучевой терапии нельзя просто уменьшить поглощенную дозу, что связано с необходимостью достижения канцероцидного эффекта в опухолевом очаге или мишени. Поэтому главным требованием к радиационной защите пациентов является максимально возможное снижение дозы в нормальных органах и тканях, окружающих мишень. Вторым требованием является обязательное установление в клиниках системы гарантии качества лучевой терапии. От выполнения этого требования непосредственно зависит уровень качества оказываемых медицинских услуг.

Основной тенденцией в современном развитии технического обеспечения лучевой терапии является интенсивный отказ от применения дистанционных гамма-терапевтических аппаратов с источниками излучения кобальта-60 и переход на использование линейных ускорителей электронов. Ежегодно в мире выпускаются сотни медицинских ускорителей различного назначения, обладающих уникальными характеристиками пучков фотонов и электронов. Именно эта уникальность позволила существенно снизить объемы облучения нормальных тканей и дозы в них. Только на ускорителях удалось реализовать такие высокотехнологичные методы лучевой терапии,

как конформное облучение, терапия с модулированной интенсивностью излучения, стереотаксическая терапия малых мишеней в головном мозге и в теле пациента, облучение, синхронизированное с дыханием пациентов, и некоторые другие виды терапии [1].

Для обеспечения высокого уровня лучевого лечения пациентов, необходимо производить контроль всех параметров радиотерапевтических аппаратов, планирующих систем и вспомогательных устройств, и приспособлений, которые применяются для радиотерапии. С этой целью разрабатываются и внедряются программы гарантии качества медицинского оборудования. Учитывая разнообразие радиологических систем и входящих в них компонентов, невозможно разработать единую универсальную программу гарантии качества, подходящую к каждому радиологическому отделению. В связи с этим в последнее время получили широкое распространение локальные программы гарантии качества для обеспечения нужд конкретного отделения лучевой терапии [2].

Гарантия качества лучевой терапии представляет собой систему мероприятий, направленных на соблюдение качества технологического процесса лучевого лечения на всех его этапах. При этом исключительно важным становится контроль качества применяемого оборудования: медицинских ускорителей электронов, систем планирования облучения, рентгеновских симуляторов и др. Контроль качества оборудования, применяемого в лучевой терапии, является ключевым элементом оптимизации радиационной защиты пациентов. С точки зрения контроля качества работы наиболее сложными являются современные ускорители электронов. Особое значение здесь имеет контроль тех параметров, которые влияют на величину и распределение поглощенной дозы в мишени и во всем теле пациента [5].

Важным этапом программы контроля качества лучевой терапии являются дозиметрические измерения.

Следует подчеркнуть, что реализация современных методик лучевой терапии невозможна без использования электронных средств получения, обработки и хранения дозиметрической информации. Так, перед лечением пациента по методике модулированной интенсивности излучения, проводится до 9 верификаций планов облучения, рассчитанных на планирующей системе. Программное обеспечение позволяет получать трехмерные распределения дозы с помощью вращающейся матрицы и сравнивать их с рассчитанными дозовыми распределениями.

В лучевой терапии применяется большое многообразие детекторов для оценки дозового распределения в теле пациента, положения пациента на лечебном столе и при оценке дозиметрических параметров радиотерапевтического аппарата. В данной статье авторами произведен обзор и рассмотрен принцип работы матричных детекторов, которые получили широкое применение на современных медицинских линейных ускорителях электронов [3].

Детекторами ионизирующих излучений называют устройства, предназначенные для обнаружения излучений и частиц, определения состава излучения и измерения его энергетического спектра. Для реализации детекторов используют различные эффекты, возникающие при взаимодействии излучения с веществом. В общем случае, детектор ионизирующих излучений можно считать устройство, на вход которого поступают частицы, а на выходе регистрируются сигналы. Для детекторов характерны выходные сигналы в виде импульсов тока, вспышек света и др. [4].

Матричный детектор имеет сложную многослойную структуру, включающую следующие слои (рис. 1):

1 – медная пластина;	5 – считывающая матрица фотодиода;
2 – антиотражающая пластина;	6 – антиотражающая пластина;
3 – сцинтиллятор;	7 – алюминиевая пластина;
4 – защитная пленка;	8 – свинцовая пластина.



Рисунок 1 – Послойное расположение пластин в матричном детекторе

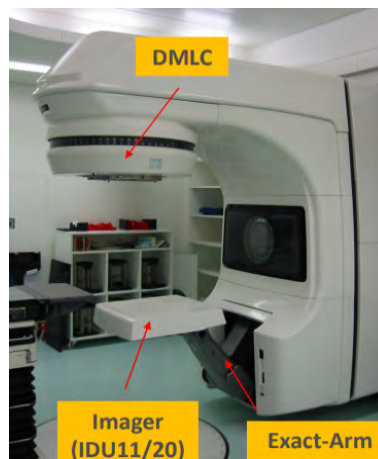


Рисунок 2 – Линейный ускоритель, оснащенный матрицей для регистрации изображений, где DMLC- динамический мультилепестковый коллиматор, Exact-Arm-выдвижная рука для матрицы, Imager- матрица для приема сигнала, который в последствие будет преобразован в изображение

Матричный детектор прикреплен к облучателю (гентри) линейного ускорителя при помощи подвижного механизма, который выдвигает матрицу (портал) в необходимое для проведения измерений положение с ручного

пульта управления, либо с консоли оператора (рис 2). На рисунке 2 изображен пример линейного ускорителя, оборудованного матричным детектором, на рисунке 3 показан физический принцип работы матричного детектора.

Матричные детекторы используются для перевода рентгеновского (фотонного) излучения в свет (непрямое преобразование) или заряд (прямое преобразование). Детекторы с непрямым преобразованием используют сцинтиллятор для трансформации рентгеновских лучей в свет перед трансформацией в электрический заряд для последующего считывания. Принцип состоит в адсорбции на медной пластине испускаемых линейным ускорителем фотонов частично с испусканием электронов по законам Комптоновского (фотоэлектрического) эффекта. Сцинтилляционная пластина преобразует электроны в световые фотоны. Далее происходит процесс рассеяния световых фотонов, которые в свою очередь попадают на фотодиод. Каждый фотодиод представляет один пиксель и производит электрический заряд, который считывается в цифровом виде. Алюминиевая и свинцовая пластины в матрице выполняют функцию щита от обратного рассеивания. В свою очередь отражающая пластина не позволяет оптическим фотонам отражаться от слоев поверхности (рис.3).

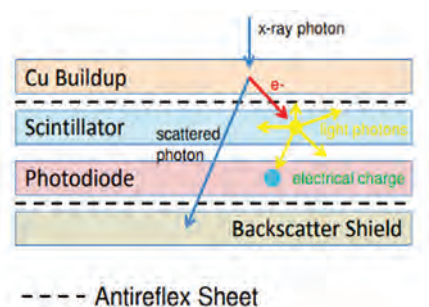


Рисунок 3 – Физический принцип работы матричного детектора

Современные медицинские ускорители представляют собой комплексные устройства для оказания медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями. Контроль дозиметрических параметров является частью гарантии качества лучевой терапии. По этой причине онкологические диспансеры должны быть оборудованы современными средствами дозиметрического контроля.

Ведущее место в парке линейных ускорителей в Республике Беларусь занимают модели мировых производителей, таких как Electa, Inc., США и VarianMedicalSystems, Inc., США. Современные модели укомплектованы системой портального получения изображений.

На линейных ускорителях Electa, Inc., США матрица носит название iViewGT и представляет собой электронное устройство формирования портальных изображений (EPID). Эти изображения используются для проверки правильности положения пациента до, во время и после облучения. Полученные изображения можно просматривать в системе или экспортировать в системы сторонних производителей. Внешний вид и расположение портальной матрицы может отличаться в зависимости от модели линейного ускорителя. В большинстве случаев, в процедурном кабинете имеется панель детектора и ручной пульт управления системой iViewGT, которые входят в состав оборудования. Панель детектора расположена напротив гентри ускорителя на барабане гентри. Для получения изображения необходимо выдвинуть панель детектора с помощью ручного пульта управления системой. В пультной комнате имеется система управления и функциональная клавиатура, которые используются для запуска МВ-излучения вручную и получения изображений. Когда система не используется, панель детектора возвращают в исходное положение при помощи функциональной клавиатуры. Изображения с фотодиодной матрицы считываются программным обеспечением, которое обрабатывает, сохраняет их и выводит на экран.

Система получения портальных изображений от компании VarianMedicalSystems, Inc имеет схожее строение и обладает следующими преимуществами (рис. 4):

- Позволяет проводить контроль качества предварительной терапии
- Контроль качества работы самого устройства
- Контроль постоянства параметров дозы на выходе
- Имеет функцию последовательной автоматической обработки полей

Параметры устройств визуализации PortalVision:

(Более полные спецификации устройств визуализации содержатся в документе RAD10087B)

Устройство визуализации	Размер поля	Диапазон SID*	Мощность дозы при SID, равном 100 см
aS500II	30 x 40 см	100 – 180 см	50 – 400 ME/мин
aS1000	30 x 40 см	100 – 180 см	50 – 800 ME/мин ⁴
aS1200	43 x 43 см	100 – 180 см	50 – 2400 ME/мин ⁴

* SID (Source to imager distance) - расстояние от источника до приёмника изображения, устанавливаемое с помощью выносной опоры Exact arm для устройства визуализации.

Рисунок 4 – Характеристики портальной матрицы PortalVision компании VarianMedical Systems

На сегодняшний день невозможно разработать универсальную программу гарантии качества для всех радиологических линейных ускорителей. Это связано с разнообразием систем и устройств, входящих в каждый линейный ускоритель. На практике важно разработать систему тестов для каждого радиологического комплекса. Использование абсолютной дозиметрии наиболее глубоко решает данную проблему. Однако, существующие технические решения не позволяют с высокой точностью и достоверностью реализовать дозовые распределения в эквивалентных объемах, таких как органы грудной клетки и абдоминальные структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин, И. Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии Издательский дом «Беларускаянавука» / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович. Минск :Беларускаянавука, 2015. – 175 с
2. Тарутин, И. Г. Высокотехнологичная лучевая терапия Издательский дом «Беларускаянавука» / И.Г. Тарутин, И.И. Минайло. Минск :Беларускаянавука, 2013. – 163 с
3. Тарутин, И. Г. Радиационная защита в лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович, Г. В. Гацкевич. – Минск :Беларускаянавука, 2015. – 212 с.
4. Медицинские приборы. Разработка и Применение. М. : Медицинская книга, 2004. – 720 с.
5. Тарутин, И. Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии /И. Г. Тарутин, Е.В. Титович. – Минск :Беларускаянавука, 2015. – 175 с

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АБСОЛЮТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ OVERVIEW OF MODERN METHODS OF ABSOLUTE DOSIMETRY

М. Н. Петкевич^{1,2}, И. Н. Чиркова^{1,2}, Т. С. Чикова^{1,2}
M. N. Petkevich^{1,2}, I. N. Chirkova^{1,2}, T. S. Chikova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
kfm@iseu.by, cookiebad@outlook.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Контроль качества характеристик линейных ускорителей для лучевой терапии является ключевым элементом радиационной защиты пациентов. Он включает систему организованных мероприятий, технических средств и технологических процедур для поддержания на оптимальном уровне рабочих характеристик оборудования, а также режимов лечения. Выполнен обзор современных методов абсолютной дозиметрии. Показано, что наиболее эффективными устройствами для абсолютной дозиметрии являются тканеэквивалентные водные фантомы. Проанализированы водные фантомы BluePhantom SMARTSCAN и BluePhantom Compact, используемые в Государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова». Показано, что использование абсолютной дозиметрии на оборудовании типа водных фантомов в наибольшей мере позволяет решать проблему разработки системы тестов для радиологического комплекса на базе линейного ускорителя.

Quality control of the characteristics of linear accelerators for radiation therapy is a key element of radiation protection of patients. It includes a system of organized events, technical means and technological procedures to maintain the optimal level of equipment performance, as well as treatment regimens. The review of modern methods of absolute dosimetry is carried out. It is shown that the most effective devices for absolute dosimetry are tissue-equivalent water phantoms. The water phantoms Blue Phantom SMARTSCAN and Blue Phantom Compact used in the State Institution «N. N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus» are analyzed. It is shown that the use of absolute dosimetry on equipment such as water phantoms makes it possible to solve the problem of developing a test system for a radiological complex based on a linear accelerator to the greatest extent.

Ключевые слова: лучевая терапия, линейный ускоритель электронов, программа гарантии качества, абсолютная дозиметрия, водный фантом.

Keywords: radiation therapy, radiation therapy, linear electron accelerator, quality assurance program, absolute dosimetry, water phantom.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-233-236>

Медицинский линейный ускоритель электронов – это радиотерапевтический комплекс, который используется для оказания помощи пациентам с онкологическими заболеваниями в лучевой терапии. Основной тенденцией в современном развитии технического обеспечения лучевой терапии является интенсивный отказ от применения дистанционных гамма-терапевтических аппаратов с источниками излучения кобальта-60 и переход на использование линейных ускорителей электронов. Ежегодно в мире выпускаются сотни медицинских ускорителей различного назначения, обладающих уникальными характеристиками пучков фотонов и электронов. Именно эта уникальность позволила существенно снизить объемы облучения нормальных тканей и дозы в них. Только на ускорителях удалось реализовать такие высокотехнологичные методы лучевой терапии, как конформное облучение, терапия с модулированной интенсивностью излучения, стереотаксическая терапия малых мишеней в головном мозге и в теле пациента, облучение, синхронизированное с дыханием пациентов, и некоторые другие виды терапии [1].

Контроль качества характеристик линейных ускорителей, на которых происходит лечение пациентов, является ключевым элементом радиационной защиты. Под контролем качества понимается система организованных мероприятий, технических средств и технологических процедур для количественного определения, мониторинга и поддержания на оптимальном уровне рабочих характеристик оборудования, а также режимов лечения [2].

Контроль дозиметрических параметров (измерения) является важным этапом предлучевой подготовки и лучевой терапии. Измерения, связанные с получением пространственных распределений поглощенной дозы в различных клинических условиях, принято называть относительными дозовыми распределениями. Такая терминология объясняется тем, что для обеспечения высокой точности эти данные нормируются на результаты абсолютных измерений поглощенной дозы в стандартных условиях.

Существенное отличие относительных измерений поглощенной дозы от абсолютных состоит в том, что они выполняются в большом количестве точек и в разных ситуациях. Поэтому в большинстве случаев наиболее удобным устройством для относительных измерений является водный фантом, в котором положением детектора управляет компьютер, а измерение в каждой точке занимает не больше секунды.

Процентная глубинная доза (PDD) является одной из фундаментальных характеристик, описывающих пучок излучения и представляет собой отношение поглощенной дозы на оси пучка на разных глубинах к максимальному значению дозы на оси. PDD детально измеряют для открытых пучков с разными размерами квадратных поперечных сечений и для различных модифицирующих пучок устройств.

Второй важной характеристикой пучков является внеосевое отношение (OAR) или профиль пучка. Она представляет отношение поглощенных доз на разных расстояниях от геометрической оси пучка к дозе на оси пучка в плоскости перпендикулярной к оси пучка. Учитывая большой градиент дозового распределения в области тени, при измерении OAR целесообразно применять детекторы с малыми объемами, как например, полупроводниковые диоды или алмазные детекторы.

Следующей фундаментальной величиной является выходной фактор (FOF), который представляет мощность поглощенной дозы (или дозу на одну мониторинговую единицу), создаваемую в определенной точке на оси пучка в водном фантоме (но ниже глубины максимальной дозы), для разных размеров квадратного поля. Обычно FOF определяется в относительных единицах, равных отношению FOF для данного размера поля к FOF для опорного (референсного) поля, размеры которого 10×10 см². Значения FOF монотонно увеличивается с увеличением размера поля.

Метод дозиметрических измерений, который используется в дистанционной лучевой терапии и предусматривает определение абсолютной поглощенной дозы в воде для фотонов, электронов или протонов называется абсолютной дозиметрией. Она проводится с применением образцового дозиметра с целью аттестации радиотерапевтических аппаратов после их приемочных испытаний или ремонта [5-6].

Наиболее современными устройствами для абсолютной дозиметрии являются тканезквивалентные водные фантомы. Такое оборудование имеет огромную практическую ценность в области гарантии качества лучевой диагностики и лучевой терапии. С помощью фантомов можно получить точные данные о том, как повлияет на пациента радиационный фон диагностического или лечебного оборудования. Тканезквивалентные фантомы позволяют получить ценную информацию о степени опасного воздействия радиации на человеческий организм, не прибегая к опытам с участием людей. Идеальным средством моделирования человеческого тела служит водная среда. Измеряя уровень излучения в воде, можно прогнозировать степень радиационного облучения пациента на медицинской установке. Высокая проникаемость воды позволяет легко проводить измерения на различных глубинах проникновения излучения.

Исследования с применением тканезквивалентных фантомов проводятся при тестировании нового оборудования, они также незаменимы для дозиметрического контроля уже работающих установок. Технология позволяет дать гарантию качества и безопасности того или иного медицинского устройства. Водные фантомы используются для проведения приемочных и периодических испытаний рентгенодиагностического оборудования, для проверки безопасности и производительности оборудования, предназначенного для медицинских радиологических исследований. Оборудование применяется для дозиметрических измерений в рентгенодиагностических и рентгенотерапевтических отделениях, в рентгеностоматологических, флюорографических, маммографических кабинетах, в кабинетах компьютерной томографии и смежных помещениях. При выполнении таких измерений фантом устанавливается в то место, где должен находиться человек во время исследований.

В настоящее время в Государственном Учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александра» активно используется водный фантом компании IBADosimetryGmbH под названием BluePhantomSMARTSCAN (рис.1).

Основные комплектующие части это:

- 3Dводный фантом, включающий резервуар для воды и общий блок управления,
- Электрический подъемный стол,
- Резервуар для воды с двунаправленным насосом,
- Детекторы,
- Датчик.



Рисунок 1 – Водный фантом BPSMARTSCAN на электрическом подъемном столе

Вторым по частоте использования в пределах отделения по инженерному обеспечению лучевой терапии в Государственном Учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александра» является водный фантом BluePhantomCompact (рис.2).

Данный прибор является устройством для измерения и анализа поля излучения медицинских линейных ускорителей. BluePhantomCompact состоит из двухмерного сервоблока (резервуар с механизмами), блока управления с интегрированным двухканальным электрометром и двух отдельных детекторов (ионизационные камеры или диоды). Детекторы, предназначенные для применения в сочетании с BluePhantomCompact, являются одиночными полупроводниковыми детекторами, цилиндрическими и плоскопараллельными ионизационными камерами. На горизонтальной оси могут быть установлены держатели для различных детекторов на скользящих креплениях. Детектор поля можно перемещать для измерения как горизонтальных, так и вертикальных пучков.



Рисунок 2 – Водный фантом Blue Phantom Compact

Двигатели для перемещения по двум осям (рис.3), снабженные бесконтактными абсолютными датчиками линейного перемещения, действующими по принципу магнитострикционного измерения измеряющими текущее положение в режиме реального времени.

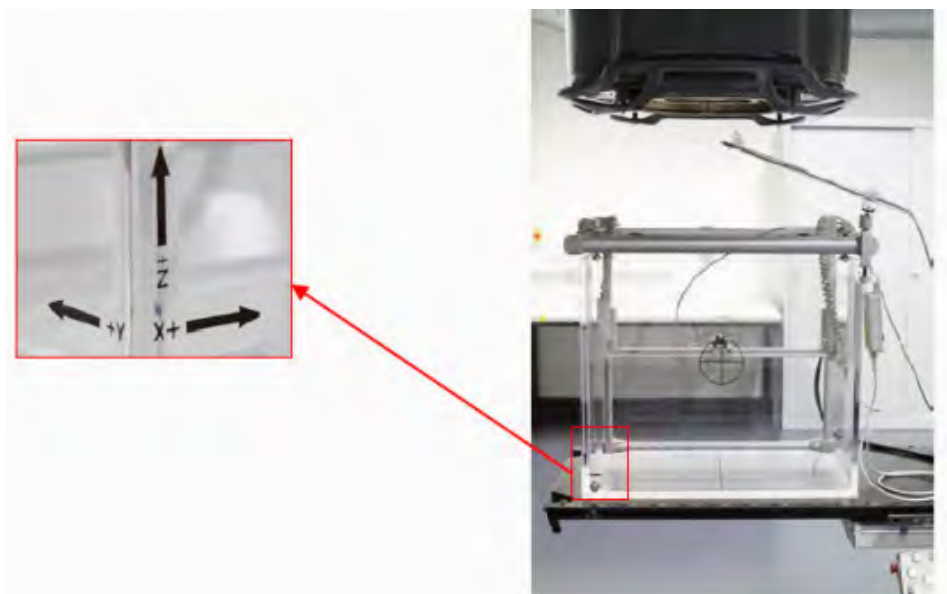


Рисунок 3 – Система координат сервопривода водного фантома BluePhantomCompact

BluePhantomCompact является компактным портативным устройством для контроля качества медицинского излучения. Его комплектация позволяет оперативно производить еженедельные и ежеквартальные дозиметрические проверки на линейных ускорителях.

В тоже время BluePhantomSMARTSCAN отличается более весомыми габаритами и точностью настройки. Для его установки, работы требуются большие энергозатраты, соответственно используется этот фантом при дозиметрических измерениях во время ввода нового оборудования в эксплуатацию, а также при годовых проверках контроля качества. Большим преимуществом BluePhantomSMARTSCAN является возможность получения дозного профиля-распределение дозы в пространстве [3].

На сегодняшний день невозможно разработать универсальную программу гарантии качества для всех радиологических линейных ускорителей. Это связано с разнообразием систем и устройств, входящих в каждый линейный ускоритель. На практике важно разработать систему тестов для каждого радиологического комплекса. Использование абсолютной дозиметрии на оборудовании типа водных фантомов наиболее близко подходит к решению данной проблеме и способствует указанию высокого уровня медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин, И. Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии Издательский дом «Беларускаянавука» / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович. Минск :Беларускаянавука, 2015. – 175 с.
2. Тарутин, И. Г. Высокотехнологичная лучевая терапия Издательский дом «Беларускаянавука» / И.Г. Тарутин, И.И. Минайло. Минск :Беларускаянавука, 2013. – 163 с
3. Тарутин, И. Г. Радиационная защита в лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович, Г. В. Гацкевич. – Минск :Беларускаянавука, 2015. – 212 с.
4. Медицинские приборы. Разработка и Применение. М. : Медицинская книга, 2004. – 720 с.
5. Близнюк, У. А. Клиническая дозиметрия : Учеб. пособие / У. А. Близнюк, Е. Н. Лынькова – М.: ООП физического факультета МГУ, 2019. – 45 с.
6. Лебеденко И. М. Методическое пособие по определению поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии для энергий фотонного (1-500 МэВ) и электронного излучения (4-50 МэВ) / И. М. Лебеденко, Т.А. Крылова. – М. : РОНЦ им. Н.Н.Блохина, 2011. – 34 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОНПРОИЗВОДЯЩИХ МИШЕНЕЙ И УРАН-СВИНЦОВОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

SIMULATION OF NEUTRONICS OF NEUTRON-PRODUCING TARGETS AND URANIUM-LEAD SUBCRITICAL ASSEMBLY

В. В. Кумас^{1,2}, А. И. Киевицкая^{1,2}

V. V. Kutas^{1,2}, A. I. Kiyavitskaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
nrs@iseu.by, vladislavkutas@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Стремительный рост ядерных мощностей требует разработки новых стратегий обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Одним из перспективных способов решения данной проблемы является использование подкритических систем, управляемых ускорителем высокоэнергетических заряженных частиц (ADS). Моделирование и исследование характеристик ядерных процессов в ADS-установках представляет собой сложную и крайне актуальную задачу.

The rapid growth of nuclear capacity requires the development of new strategies for the management of radioactive waste and spent nuclear fuel. One promising way to solve this problem is to use accelerator driven systems (ADS). Modeling and studying the characteristics of nuclear processes in the ADS-installations is a complex and extremely urgent task.

Ключевые слова: подкритическая сборка, нейтронпроизводящая мишень, ADS-установка, моделирование методом Монте-Карло.

Keywords: subcritical assembly, neutron-producing target, ADS-installation, Monte-Carlo modeling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-237-240>

Процессы образования нейтронов в реакциях расщепления материалов высокоэнергетическими пучками заряженных частиц нашли свое практическое применение в системах, управляемых ускорителем частиц, или ADS (англ. Accelerator Driven Systems) – инновационных ядерных системах, работа которых направлена в основном на трансмутацию долгоживущих радионуклидов. Чаще всего ADS включают в себя протонные ускорители с энергией около 1 ГэВ.

ADS-установки имеют ряд преимуществ:

- возможность эксплуатации активной зоны с эффективным коэффициентом размножения нейтронов $k_{\text{эфф}} < 1$ открывает концептуальную возможность создания нового типа реакторов;
- они частично открывают возможность проектирования чистых дожигателей трансурановых элементов и минорных актинидов, минимизируя долю использования подобных технологий в реакторных установках;
- пропорциональность мощности ADS-установки мощности внешнего ускорителя значительно упрощает управление и обеспечивает безопасность такого рода системы: затухание цепной реакции деления в условиях отключения ускорителя заряженных частиц обеспечивает быстрый переход системы в глубоко подкритическое состояние ($k_{\text{эфф}} \ll 1$);
- запас реактивности на мгновенную критичность может быть увеличен без увеличения доли замедленных нейтронов.

Моделирование производилось в программном пакете GEANT4 методом Монте-Карло для двух геометрий исследуемой системы:

- малой цилиндрической нейтронпроизводящей мишени, выполненной в форме цилиндра с высотой 61 см и диаметром 10,2 см;
- уран-свинцовой подкритической сборки (Рис. 1 и 2) в состав которой входит цилиндрическая свинцовая вставка (мишень), исполненная в виде цилиндра диаметром 20 см и высотой 60 см, расположенная внутри урановой цилиндрической оболочки диаметром 120 см и высотой 100 см. Урановая оболочка имеет два цилиндрических отверстия: диаметром 6 см на первые 40 см высоты уранового цилиндра для ввода пучка протонов и диаметром 20 см на оставшиеся 60 см высоты уранового цилиндра для вставки мишени.

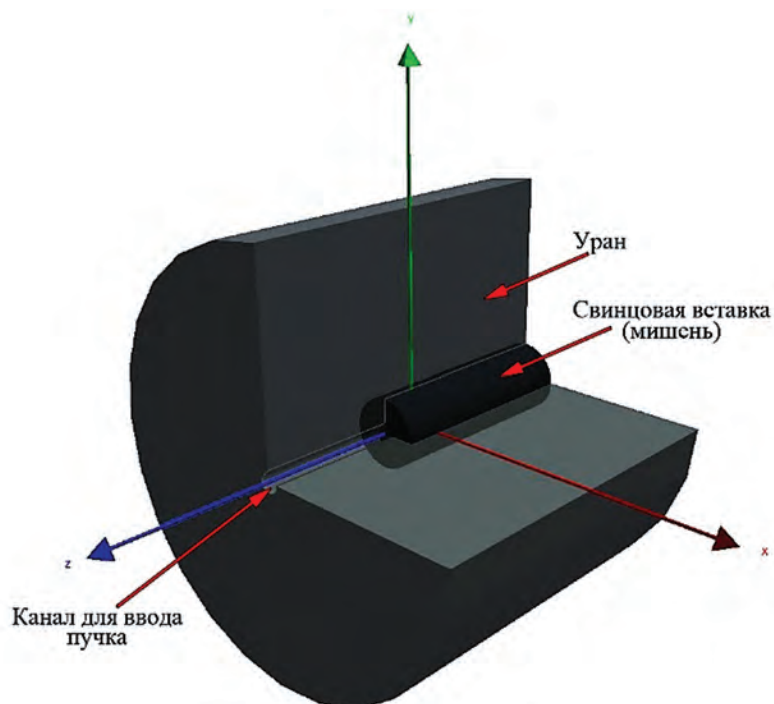


Рисунок 1 – Визуализация геометрии системы в секторальном сечении урановой оболочки

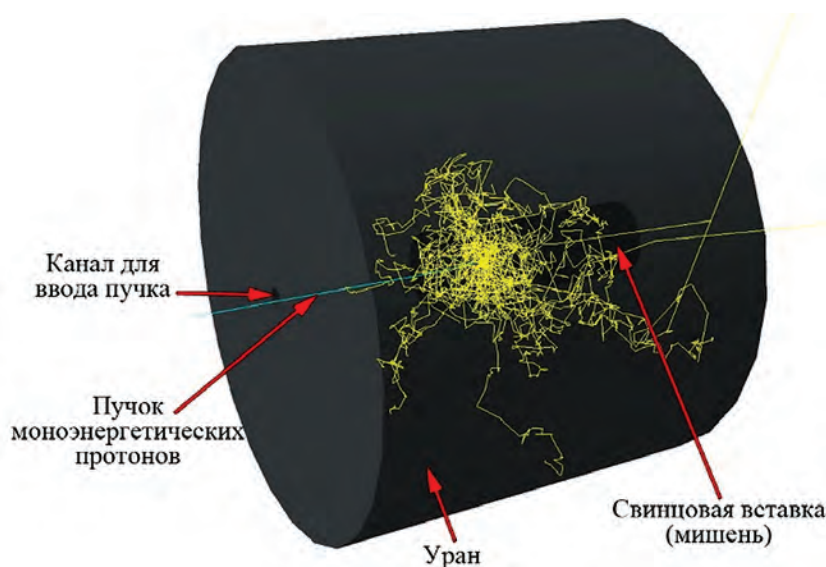


Рисунок 2. – Визуализация треков нейтронов, рожденных в уран-свинцовой сборке при облучении пучком моноэнергетических протонов

Данные по выходам нейтронов из малой свинцовой мишени моделировались для пучков моноэнергетических протонов с энергиями в интервале 0,8–1,4 ГэВ с шагом 0,2 ГэВ. В ходе моделирования было разыграно 10^4 первичных событий. При выполнении расчетов использовался список физики Intra Nuclear Cascade Liège (QGSP_INCLXX_HP) с моделью испарения ABLA (INCL/ABLA). Результаты данного моделирования представлены в последнем столбце таблицы 1.

Сравнение результатов моделирования выхода нейтронов с помощью GEANT4 (список физики INCL/ABLA) с результатами эксперимента Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL) [1] и другими работами (SONET [2], MCNPX [3], GEANT4 [4]) представлено в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показал, что:

- различие полученных данных и данных эксперимента BNL не превышает 16,65 %;
- различие полученных данных и данных по коду SONET и MCNPX не превышает 19,97 % и 9,97 % соответственно;
- различие полученных данных и данных по коду GEANT4 со списками физики BIC и BERT не превышает 9,62% и 9,11% соответственно.

Таблица 1 – Экспериментальные и смоделированные данные по выходам нейтронов из малой свинцовой цилиндрической мишени (высотой 61 см и диаметром 10,2 см), бомбардируемой пучком высокоэнергетических протонов

Энергия протонов, ГэВ	Выход нейтронов из свинцовой мишени на один протон, n/p					
	Эксперимент BNL [1]	SONET [2]	MCNPX [3]	GEANT4 (BIC) [4]	GEANT4 (BERT) [4]	Результаты моделирования
0,8	$13,60 \pm 0,23$	$15,00 \pm 0,35$	$14,45 \pm 0,20$	14,678	16,673	$15,76 \pm 0,16$
1,0	$17,38 \pm 0,23$	$16,90 \pm 0,35$	$18,64 \pm 0,20$	18,484	21,762	$20,27 \pm 0,20$
1,2	$22,31 \pm 0,31$	$23,30 \pm 0,40$	$23,20 \pm 0,20$	21,890	26,148	$23,99 \pm 0,23$
1,4	$26,21 \pm 0,42$	$26,10 \pm 0,30$	$27,09 \pm 0,30$	25,012	30,068	$27,33 \pm 0,26$

Далее был произведен расчет выхода нейтронов из малой мишени (высотой 61 см и диаметром 10,2 см), облучаемой пучком моноэнергетических протонов с энергией 0,8 ГэВ, для материалов различной атомной массы и плотности. В моделировании использовались мишени из лития, бериллия, железа, циркония, вольфрама и свинца. Полученные результаты представлены на рисунках 3 и 4.

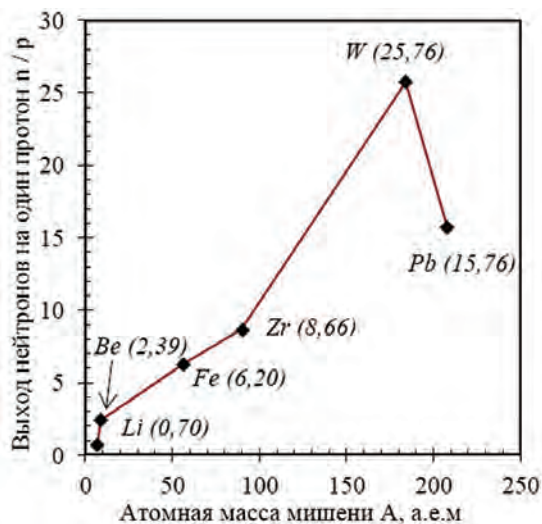


Рисунок 3 – Зависимость интегрального выхода нейтронов на один протон от атомного номера материала мишени (цилиндр высотой 61 см и диаметром 10,2 см; энергия протонов в пучке 0,8 ГэВ)

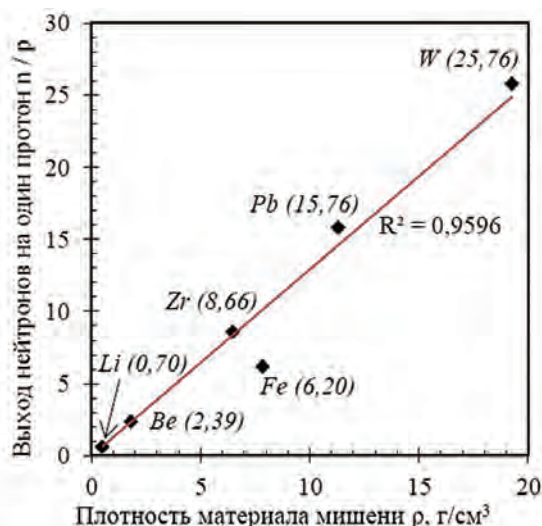


Рисунок 4 – Зависимость интегрального выхода нейтронов на один протон от плотности материала мишени (цилиндр высотой 61 см и диаметром 10,2 см; энергия протонов в пучке 0,8 ГэВ)

Среди рассмотренных материалов наибольшим выходом нейтронов обладает вольфрам, что делает его хорошим нейтронпроизводящим источником для использования в подобного рода системах. Также было обнаружено, что выход нейтронов линейно возрастает с увеличением плотности материала облучаемой мишени, коэффициент достоверности линейной аппроксимации составил 0,9596.

На рисунке 5 представлены спектры нейтронов, образованных в уран-свинцовой подкритической сборке при различных обогащениях урановой оболочки – природного, обедненного (0,4% U-235) и обогащенного (4,7 % U-235). Полученные спектры показывают, что выход нейтронов в диапазоне до 20 МэВ больше у более обогащенного урана. Данный факт связан с большей долей изотопа ^{235}U , который имеет более высокое сечение деления в этой области.

На рисунке 6 представлены спектры нейтронов, образованных в уран-свинцовой сборке для различных типов заряженных частиц в пучке. Использовались пучки, состоящие из протонов, дейтронов, тритонов и α -частиц с удельной кинетической энергией 0,8 ГэВ/нуклон.

Анализируя рисунок 6, можно отметить, что форма спектра нейтронов слабо зависит от типа налетающих частиц, изменяется лишь его высота. Более высокая эффективность пучков заряженных частиц, состоящих из более тяжелых ядер обусловлена тем, что при одной и той же удельной кинетической энергии (ГэВ/нуклон) более тяжелые ядра имеют в своем составе большее число нейтронов, кулоновский барьер для которых отсутствует.

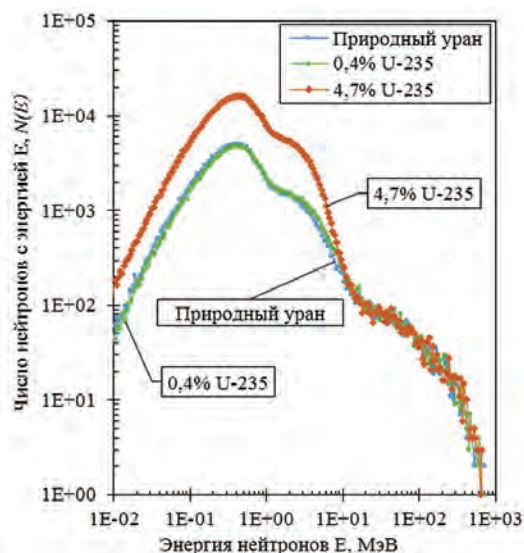


Рисунок 5. Зависимость интегрального выхода нейтронов в уран-свинцовой подкритической сборке от обогащения урановой оболочки (энергия протонов в пучке 0,8 ГэВ)

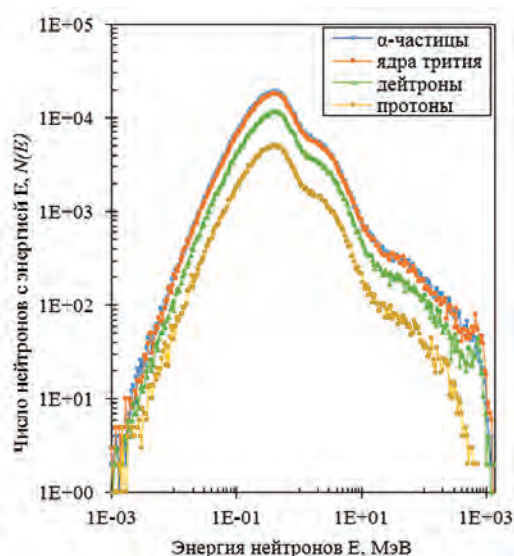


Рисунок 6. Зависимость интегрального выхода нейтронов в уран-свинцовой подкритической сборке от типа частиц в пучке (энергия частиц в пучке 0,8 ГэВ/нуклон)

Эксплуатация ADS-установок позволит частично решить вопросы обращения с образующимися в ходе деятельности предприятий ядерного топливного цикла долгоживущих радиоактивных отходов, что является крайне актуальной задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zucker, M. Spallation neutron production measurements / M. Zucker // Proceedings of the 2nd International Conference on Accelerator Driven Transmutation Technologies and Applications (ADTTA). – Sweden, 1996. – P. 527–533.
2. Kiyasvitskaya, A.I. Accelerator molten salt breeder as fissile producing component of THORIUM-NES concept for energy production and transmutation of plutonium / A. Kiyasvitskaya, S. Chigrinov, I. Rakhno // Proceedings of the 8th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems ICENES'96. – Obninsk, 1996. – P. 564–571.
3. Goorley, T. MCNP Monte Carlo Team, X-5. Release of MCNP5_RSICC_1.30. Report LA-UR-04-8086 / T. Goorley [et al.] // Los Alamos National Laboratory. – Los Alamos, 1997. – 26 p.
4. Dubrowski, A.I. Simulation of an Accelerator Driven System with Different Spallation Targets / A.I. Dubrowski, A.I. Kiyavitskaya, S.I. Tyutyunnikov // Physics of Particles and Nuclei Letters. – Road Town, 2021. – P. 27–35.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИЙ ИСКЛЮЧЕНИЯ, ИЗЪЯТИЯ И ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ КОНТРОЛЯ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

APPLICATION OF THE CONCEPT OF EXCLUSION, EXEMPTION AND CLEARANCE OF SOURCES OF IONIZING RADIATION

Е. Л. Никитин^{1,2}, Н. Н. Тушин^{1,2}

E. Nikitin^{1,2}, N. Tushin^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
egor_nikitin_borland_1712@mail.ru, tushin@iseu.by

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Статья описывает применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля источников ионизирующего излучения. Рассматриваются теоретические основы данных концепций, международный опыт применения.

The article is devoted to the application of the concepts of exclusion, exemption and clearance of sources of an ionizing radiation in the regulatory documents of the Republic of Belarus. The theoretical foundations of these concepts, international experience of application are considered.

Ключевые слова: концепции исключения, изъятия, освобождения от контроля; источники ионизирующего излучения; радиационная безопасность; принцип обоснования; принцип оптимизации.

Keywords: concepts of exclusion, exemption, clearance; source of ionizing radiation; radiation protection; principle of justification; principle of optimization.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-240-244>

Рассмотрим теоретические основы данных концепций.

В своих Рекомендациях 2007 года МКРЗ заявила, что система радиологической защиты применяется ко всем видам воздействия ионизирующего излучения из любого источника, независимо от его размера и происхождения. Вместе с тем она уточнила, что Рекомендации МКРЗ могут применяться только в полном объеме, включая регулирующий контроль, к ситуациям, в которых либо источник воздействия, либо пути, приводящие к накоплению дозы, получаемые отдельными лицами, могут контролироваться некоторыми разумными средствами. Исходя из этого понимания, некоторые ситуации воздействия могут быть исключены из законодательства о контроле за радиационной защитой, как правило, на том основании, что они не могут контролироваться разумными средствами, т. е. они не контролируемые или не поддаются контролю с помощью регулирующих инструментов. Аналогичным образом, некоторые контролируемые ситуации облучения могут быть изъятые от некоторых или всех требований нормативного контроля в области радиационной защиты, поскольку такие меры контроля могут разумно рассматриваться как необоснованные.

Тот факт, что Рекомендации МКРЗ предназначены для любого уровня и типа облучения, не означает, что все виды облучения, источников и деятельности человека могут быть рассмотрены или нуждаются в рассмотрении при создании применимых к ним правовых и регулирующих систем. Вместо этого, согласно принадлежности конкретного источника или ситуации облучения к подлежащей регулированию категории и уровню облучения/риска, связанного с этим источником или ситуацией, следует установить определенный уровень обязательств по их регулированию [1].

Те виды облучения, которые могут быть исключены из-под действия законодательства о радиационной защите, включают в себя неконтролируемое облучение и то облучение, которое по своей сути не подлежит контролю вне зависимости от его величины. Неконтролируемое облучение – это облучение, которое в любых вообразимых обстоятельствах не может быть ограничено регулируемыми действиями, такое, как воздействие радионуклида калий-40, инкорпорированного в организме человека [1].

Ключевыми компонентами системы радиологической защиты являются принципы обоснования и оптимизации защиты. Эти принципы определены МКРЗ следующим образом:

- Обоснование: любое решение, изменяющее ситуацию с радиационным воздействием, должно приносить больше пользы, чем вреда.
- Оптимизация защиты: вероятность подвергнуться облучению, число людей, подвергшихся облучению, и величина их индивидуальных доз должны быть настолько низкими, насколько это разумно достижимо, с учетом экономических и социальных факторов. [1–2]

Применение концепций, лежащих в основе определений принципов обоснования и оптимизации защиты, имеет важное значение для определения мер регулирующего контроля. Применение обоснования требует, чтобы введение мер регулирующего контроля приносило достаточную индивидуальную или общественную выгоду, чтобы компенсировать ущерб, который они могут причинить. А именно, выяснение ситуаций воздействия, которые могут быть обоснованно урегулированы с помощью средств контроля или, наоборот, которые не поддаются контролю или не поддаются регулируемому контролю и поэтому должны быть исключены из правил контроля. [1–2].

Основные концепции, связанные со сферой действия правил радиологической защиты, называются «исключение» и «изъятие». Исключение относится к преднамеренному исключению ситуаций облучения из области нормативных требований, а изъятие относится к отказу от нормативных требований, если их применение не обосновано. Особый случай изъятия, называемый «освобождение» означает отказ от регулирующего контроля, если такой контроль становится необоснованным [1].

Хотя концепция изъятия широко использовалась для определения априори, следует ли регулировать конкретную ситуацию облучения, возможно, эту концепцию можно было бы также использовать апостериори, т.е. изъятие можно было бы также рассмотреть для уже существующих ситуаций, которые подчиняются нормативным требованиям и не требуют дальнейшего регулирования. Термин «освобождение» использовался на международном уровне для описания такого процесса апостериорного освобождения. Таким образом, освобождение было определено в международных стандартах как «удаление радиоактивных материалов или радиоактивных объектов в рамках разрешенной практики из-под любого дальнейшего контроля со стороны национального органа» [2]

Таким образом, освобождение – это частный случай изъятия, а не совсем другая концепция; это, по сути, подкатегория изъятия.

На Рис. 1.1 показано, как система исключения, изъятия и освобождения должна работать на практике.

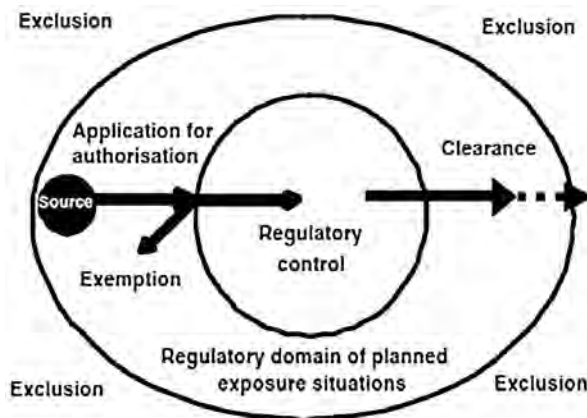


Рисунок 1 – Практическая реализация системы исключения, изъятия и освобождения [1]

Из рисунка 1 регулирование ситуаций облучения: исключенные облучения регулируются в том смысле, что нормативные акты определяют условия, при которых облучение должно быть исключено (с указанием того, какие виды облучения невозможно контролировать). Риски изъятия уже находятся под регулирующим контролем, даже если они изъятые от некоторых процедур регулирующего контроля.

В отличие от изъятия, освобождение конкретно определяется как относящееся к радиоактивным материалам. Освобожденные радиоактивные материалы удаляются от какой-либо предшествующей формы регулирующего контроля, или, точнее, регулирующий контроль больше не применяется к лицу, ранее отвечавшему за них. Таким образом, освобождение от ответственности можно рассматривать как процесс отказа от регулирующего контроля. В целом, использовался термин «освобожденные источники», поднимающий вопросы о взаимосвязи между «освобожденным источником» и «изъятый источник», поскольку эти два термина имеют некоторые общие черты, но не являются точно синонимичными. Одно различие между этими двумя терминами по существу состоит в том, что освобожденный источник все еще находится в сфере действия регулирующей системы, в то время как освобожденный радиоактивный материал обычно находится вне любого возможного контроля [1].

В отношении источника, изъятый из-под контроля, остается юридическое лицо, которое теоретически может быть определено законом как ответственное за источник и любые последствия, возникающие в результате его использования, даже в том случае, если не применяются особые требования регулирующего контроля, и освобождение остается в силе только до тех пор, пока критерии изъятия продолжают соблюдаться. С другой стороны, для очищенного материала любое будущее воздействие, которое оно вызывает, де-факто исключается из нормативной базы, и ранее ответственное лицо освобождается от ответственности.

Таким образом, в принципе, регулирующие требования могут быть применены к лицу, ответственному за источник, изъятый из-под контроля, в то время как освобожденный материал находится за пределами досягаемости регулирующих инструментов, если он не станет частью новой практики, требующей регулирующего контроля. Однако считается, что иногда в регулирующей практике легче идентифицировать и отслеживать тех, кто несет ответственность за освобожденный материал, чем тех, кто все еще несет ответственность за изъятый источник [1].

Следует отметить, что обе концепции являются неотъемлемой частью последовательного применения системы радиологической защиты МКРЗ. Их не следует рассматривать как «побег» из системы, а, скорее, как естественное последствие применения рекомендаций МКРЗ [1].

Законодательная система радиологической защиты должна сначала установить, что должно быть в рамках системы правового контроля, а что – вне ее и, следовательно, исключаться из закона и его нормативных актов, определяющих регулирующий контроль. Во-вторых, система должна также установить, что может быть освобождено от некоторых или всех требований регулирующего контроля, поскольку действие регулирующего контроля неоправданно [1].

Рассмотрим применение данных концепций в соответствии с ситуативным подходом.

Под ситуацией планируемого облучения понимается, повседневные ситуации, включающие в себя запланированную работу с источниками излучения, в том числе снятие с эксплуатации, захоронение радиоактивных отходов и реабилитация ранее занятых под производственную деятельность земель [1].

Существует два основания для изъятия источника или экологической ситуации от регулирующего контроля. Один из них заключается в том, что источник вызывает небольшие индивидуальные дозы и небольшие коллективные дозы. Другая заключается в том, что никакие разумные процедуры контроля не могут привести к значительному снижению индивидуальных и коллективных доз.

Ситуации аварийного облучения – это неожиданные ситуации, которые могут потребовать осуществления срочных защитных действий, а иногда и долгосрочных защитных действий. В таких ситуациях может произойти облучение населения и персонала, а также загрязнение окружающей среды [1].

Для обстоятельств, возникающих в ситуациях аварийного облучения, таких как несчастный случай или злонамеренное событие, использование концепций, аналогичных исключению и изъятию иногда обсуждалось

в связи с критериями принятия защитных мер. Однако МКРЗ подчеркивает, что в этих ситуациях ключевыми вопросами, подлежащими рассмотрению, являются планирование и подготовка к принятию надлежащих защитных мер, которые оправданы с учетом сложившихся обстоятельств и которые были выбраны для достижения наиболее приемлемых результатов [1].

В контексте защитных мер, принимаемых в краткосрочной или среднесрочной перспективе после чрезвычайной ситуации, МКРЗ считает, что количественные уровни исключения или освобождения от регулирующего контроля не играют существенной роли [1].

В отличие от непосредственной аварийной ситуации, управление долгосрочными последствиями события, которое привело к выбросу радиоактивных материалов в окружающую среду, требует иного подхода. МКРЗ признала, что управление загрязнением, оставшимся после ситуации аварийного облучения, следует рассматривать как ситуацию существующего облучения [1].

Ситуации существующего облучения – это те, которые существуют, т. е. они уже существуют и существовали в течение длительного времени, когда необходимо принять решение о контроле. К ним относятся и те, которые возникают в результате долгосрочных последствий аварийной ситуации [2].

Ситуации существующего облучения могут быть сложными в том смысле, что они могут включать несколько путей облучения, которые, как правило, могут приводить к широкому распределению годовых индивидуальных доз в диапазоне от очень низких до, в редких случаях, нескольких десятков мЗв. Множественность путей воздействия и важность индивидуального поведения могут привести к возникновению ситуаций облучения, которые трудно контролировать. Существуют ситуации облучения, в которых может стать очевидным, что действия по снижению облучения не оправданы. Решение о том, какие компоненты существующего облучения не поддаются контролю (и, следовательно, могут быть исключены), требует решения национального органа, которое будет зависеть от контролируемости источника или облучения. Решение о том, какие компоненты существующего облучения не требуют регулирующего контроля (и, следовательно, могут быть изъяты), также имеет значение, требуя суждения национального органа об уровне воздействия и преобладающих экономических, социальных и культурных обстоятельствах. [1–2]

Рассмотрим международный опыт использования данных концепций.

В международных стандартах радиационной безопасности используются концепции исключения, изъятия и освобождения, как и во многих национальных системах регулирования. В этих нормативных системах исключение связано с определением полного объема, а изъятие связано с освобождением от демонстрации соблюдения определенных нормативных обязательств.

В дальнейшем будут рассмотрены концепции, а для радионуклидов обозначены их концентрации активностей, которые будут определять пороговые значения для действий регулирующего контроля, подробное изложение изложено в ОНБ [3].

Значения концентрации активности, указанные в руководстве по безопасности [3], не применяются к:

– пищевым продуктам, питьевой воде, животным кормам и любому веществу, предназначенному для использования в пищевых продуктах или кормах;

– радону в воздухе, так как уровни действий для концентрации радона в воздухе указаны в ОНБ [3];

– калию-40 в теле человека, который исключен из ОНБ [3];

– материалу в процессе перевозки в соответствии с Правилами перевозки МАГАТЭ [3,4].

Радионуклиды искусственного происхождения производятся и используются в процессе практической деятельности. Как к таковым, к ним могут применяться положения, для изъятия умеренных количеств материала и касающиеся освобождения от контроля.

Исключение, как следует из ОНБ [3,4], связано с тем, насколько облучение поддается регулирующему контролю, а не с фактической величиной облучения. Степень, в которой облучение поддается контролю, представляет собой относительную концепцию; данный вопрос сводится к практической возможности и подразумевает признание стоимости осуществления регулирующего контроля и чистой пользы, которая будет получена в случае его осуществления.

Значения концентрации активности для радионуклидов природного происхождения, указанные в таблице 1, были выбраны на основе верхнего конца кривой глобального распределения концентраций активности в грунте, опубликованной НКДАР ООН [5]. Дозы, получаемые отдельными лицами вследствие этих концентраций активности, вряд ли могут превысить примерно 1 мЗв в год, если исключить вклад от эманации радона, который в ОНБ [3] рассматривается отдельно [4].

Таблица 1 – Значения концентраций активности для радионуклидов природного происхождения [4]

Радионуклид	Концентрация активности, Бк/г
К-40	10
Все другие радионуклиды природного происхождения	1

Значения были определены на основе рассмотрения глобального распределения концентраций активности этих радионуклидов. Следовательно, они действительны для цепочек естественных распадов в вековом равновесии; т.е. цепочек распадов, возглавляемых U-238, U-235 или Th-232, с указанным значением, которое должно

применяться к исходному изотопу цепочки распадов. Приведенные значения могут также использоваться индивидуально к каждому продукту распада в цепочках или к главному изотопу подгрупп цепочек, таких, как подгруппа с Ra-226 в качестве ее основного изотопа [3].

Первичная радиологическая основа для определения значений концентрации активности, используемых для изъятия и для освобождения от контроля, сводится к тому, что эффективные дозы, получаемые отдельными лицами, должны быть порядка 10 мкЗв или менее в год. Для учета возникновения маловероятных событий, приводящих к повышению радиационного облучения, использовался дополнительный критерий, а именно, эффективные дозы в результате таких маловероятных событий не должны превышать 1 мЗв в год. В этом случае учитывались также дозы на кожу; для данной цели использовался критерий эквивалентной дозы 50 мЗв в год на кожу [3, 4].

Второй радиологический критерий для изъятия, изложенный в приложении А ОНБ [3], касается коллективных эффективных доз, связанных с практической деятельностью. Коллективные эффективные дозы, которые могут быть связаны с изъятием и освобождением материалов от контроля, оценивались в ряде исследований [3, 4]. В целом был сделан вывод, что критерий индивидуальной дозы будет почти всегда ограниченным и что ожидаемые коллективные эффективные дозы за один год практической деятельности обычно будут значительно ниже 1 человеко-зиверта [4].

Таким образом, применение данных концепций позволит избежать необоснованных затрат на ситуации облучения, контроль которых не обоснован или затруднен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Annals of the ICRP, PUBLICATION 104 Scope of Radiological Protection Control Measures. Published for Elsevier, 2007. – 105 p.
2. Публикация № 103 МКРЗ: Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиологической защите. – МКРЗ, 2007. – 344 с.
3. СЕРИЯ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ, № GSR Part 3 «Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности», МАГАТЭ, Вена, 2015 год.
4. Серия норм по безопасности, № RS-G-1.7 ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИЙ ИСКЛЮЧЕНИЯ, ИЗЪЯТИЯ И ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ КОНТРОЛЯ. Руководство по безопасности. МАГАТЭ, Вена 2006г.
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000.

РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ В РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ ПЕРСОНАЛА НА ПРИМЕРЕ ОПЫТА ЗАРУБЕЖНЫХ АЭС

IMPLEMENTATION OF OPTIMIZATION APPROACHES IN RADIATION PROTECTION OF THE WORKERS BASED ON EXPERIENCE OF FOREIGN NUCLEAR POWER PLANTS

В. В. Кумас^{1,2}, Н. Н. Тушин^{1,2}

V. V. Kutas^{1,2}, N. N. Tushin^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ
г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь
nrs@iseu.by, vladislavkutas@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Оптимизация радиационной защиты является одним из трех фундаментальных принципов радиационной безопасности. Применение оптимизационных подходов на атомных электростанциях Чехии и Румынии способствовало снижению индивидуальных и коллективных доз персонала.

Optimization of radiation protection is one of the three fundamental principles of radiation safety. The use of optimization approaches at nuclear power plants in the Czech Republic and Romania contributed to the reduction of individual and collective doses of workers.

Ключевые слова: атомная электростанция, оптимизация радиационной защиты, методология ALARA.

Keywords: nuclear power plant, optimization of radiation protection, ALARA methodology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-244-247>

Основной целью радиационной безопасности, согласно подходам ведущих в области радиационной безопасности и защиты организаций, таких как МАГАТЭ и МКРЗ, является защита людей и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения без излишнего ограничения деятельности человека.

В соответствии с рекомендациями МКРЗ и требованиями МАГАТЭ, для достижения целей радиационной безопасности для всех существующих ситуаций облучения (существующего, аварийного и планируемого) сформулирован единый набор принципов обеспечения радиационной безопасности. Основным принципом является ориентированный на источник ионизирующего излучения принцип оптимизации радиационной защиты.

Принцип оптимизации радиационной защиты, или как его еще общепринято называют ALARA (акроним As Low As Reasonably Achievable) – один из фундаментальных принципов радиационной защиты, направленный на удержание вероятности облучения от определенного источника, числа облучаемых людей и величины их индивидуальных доз на настолько низком уровне, насколько это достижимо с учетом социально-экономических факторов, причем дозы, получаемые отдельными лицами от этого источника должны быть ниже своих граничных значений [1].

Специальной дозиметрической величиной, предназначенной в области облучения малыми дозами для оценки эффективности радиологической защиты, является коллективная эффективная доза S , единицей измерений которой является человеко-Зиверт (чел.-Зв) [1].

По определению МКРЗ, коллективная доза S равна сумме произведения средней эффективной дозы E_i в облучаемой подгруппе i на число лиц N_i в этой подгруппе [1]:

$$S = \sum_i E_i \cdot N_i.$$

Для принятия решений в радиационной защите введено стандартное значение, известное как «параметр α » – стоимость чел.-Зв или денежный эквивалент коллективной дозы. Его значение либо рекомендовано государственными структурами, ответственными за радиационную защиту в стране, либо устанавливается непосредственно в самой организации, работающей с источниками ионизирующего излучения.

Внедрение принципа оптимизации в любую деятельность, связанную с воздействием ионизирующего излучения на человека, возможно за счет реализации так называемой процедуры ALARA - универсального алгоритма, позволяющего определить, оценить и решить практически любую задачу радиационной защиты. Она включает в себя детальный анализ поставленной задачи, задание доступных вариантов и факторов и их квантификацию (количественную характеристику), сравнение релевантных вариантов путем использования многочисленных видов анализа (например, «затраты – эффективность», «затраты – выгода», анализа чувствительности), а также рекомендаций по представлению полученных результатов и их интерпретации [2].

Рассмотрим некоторые примеры успешной реализации оптимизационных подходов на атомных электростанциях Чехии и Румынии.

АЭС «Дукованы»

АЭС «Дукованы» – первая атомная электростанция Чешской Республики, введенная в эксплуатацию в 1985 году и состоящая из четырех энергоблоков с реакторными установками ВВЭР-440 (В-213) с общей мощностью 2020 МВт.

Реализация принципа оптимизации на АЭС «Дукованы» позволила достичь значительного снижения коллективных доз и поддержания этого уровня в течение длительного периода времени, начавшегося с 2002 года (рисунок 1) [3].



Рисунок 1 – Динамика коллективной эффективной дозы и средней индивидуальной эффективной дозы на четырех энергоблоках АЭС «Дукованы», для индивидуальных доз более 0,05 мЗв (с 1988 по 2007 годы) [3]

В работе [3] выделен ряд причин успешной реализации оптимизации радиационной защиты на АЭС «Дукованы»:

1. Проектное оптимизированное взаиморасположение оборудования. На АЭС «Дукованы» реализован российский проект реакторов типа ВВЭР, который отличается от своего западного аналога PWR размещением компонент и оборудования внутри здания реактора. Компоненты и оборудование первого контура ВВЭР расположены не так близко друг к другу, как в классических западных PWR, что способствует снижению одновременного дозового воздействия на обслуживающий персонал от различных излучающих компонент внутри здания реактора.

2. Контроль содержания кобальта в конструкционных материалах. С самого начала строительства партнером и поставщиком АЭС «Дукованы» компанией «ŠKODA JS» был сделан упор на низкое содержание ^{59}Co в конструкционных материалах первого контура, способного активироваться при захвате нейтронов, становясь радиоактивным ^{60}Co . Кроме того, содержание кобальта в конструкционных материалах чешских АЭС закреплено и законодательно.

3. Контроль целостности топлива в тепловыделяющих сборках. Целостность топлива оценивается с помощью специального индикатора FRI (Fuel Reliability Indicator), который широко используется для регистрации и измерения утечек топлива из ТВС.

4. Модификация химического состава воды основного контура. Первоначальный химический состав воды первого контура в соответствии с проектом был основан на скользящем высокотемпературном значении pH. Это значение pH первоначально изменялось при изменении значений борной кислоты и гидроксида калия в теплоносителе и варьировалось в диапазоне от 6,8 до 7,5. Согласованный химический состав воды не обеспечивал стационарных физико-химических условий и постоянного поведения химических соединений в теплоносителе первого контура в течение реакторного цикла. Накопление коррозионных слоев и последующих радиационных полей от оборудования первого контура не отслеживалось из-за неконтролируемого образования продуктов коррозии и их миграции. Корректирующие меры были приняты сразу же после поднятия этого вопроса в сотрудничестве с чешским институтом «UJV Řež». В результате была организована система водно-химического контроля, позволяющая поддерживать pH в узком диапазоне.

5. Другие причины. Помимо вышеперечисленных, к факторам, повлиявшим на снижение дозовых нагрузок, относят повышение уровня культуры безопасности, продуманную систему радиологического мониторинга, эффективную обратную связь по радиологическим событиям, качественное оборудование и профессиональную подготовку специалистов, а также внедренную лицензиатом систему анализа радиационных работ.

АЭС «Чернаводэ»

АЭС «Чернаводэ» – первая и единственная АЭС Румынии, являющаяся крупнейшим производителем электроэнергии в стране. Станция состоит из двух энергоблоков с тяжеловодными реакторами CANDU общей мощностью 1400 МВт, введенных в эксплуатацию в 1996 и 2007 годах.

Исходя из данных доклада АЭЯ ОЭСР [4], начиная с 2007 года на АЭС «Чернаводэ» наблюдались более низкие значения коллективных эффективных доз по сравнению с периодом с 2000 по 2006 годы.

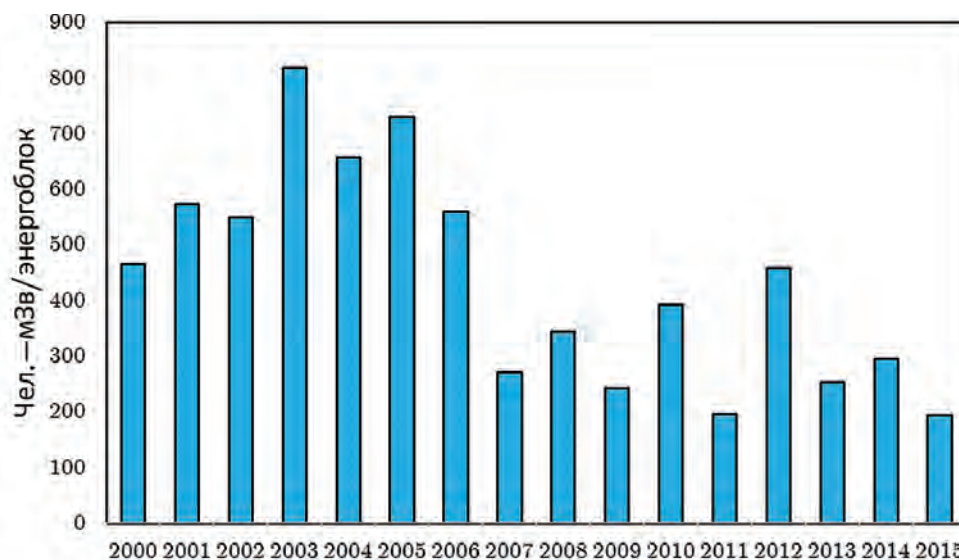


Рисунок 2 – Динамика коллективной эффективной дозы на один энергоблок АЭС «Чернаводэ» в период с 2000 по 2015 год

На АЭС «Чернаводэ» в настоящее время происходит многовекторная программа реализации процедуры ALARA, охватывающая множество факторов, влияющих на уровень облучения работников станции. Основными элементами программы оптимизации радиационной защиты являются [5]:

1. Зонирование энергоблоков и контроль доступа. Конструктивное исполнение элементов энергоблоков АЭС включает в себя системы контроля доступа к радиационным зонам повышенной опасности для того, чтобы исключить непреднамеренное облучение персонала, а также мониторинг фиксированных зон для предупреждения персонала электростанции об изменении условий работы. Организованы специальные замкнутые коллекторные системы, позволяющие локализовать утечки тяжелой воды из контура реактора.

2. Контроль радиоактивности. На АЭС «Черноводэ» приоритетно использование конструкционных материалов реактора CANDU, содержащих минимальные концентрации ^{59}Co во избежание его активации. Делается упор на раннее обнаружение выхода радиоактивности в контур теплоносителя по газообразным продуктам деления, а также общий мониторинг уровней гамма-излучения для оперативного удаления дефектной топливной кассеты. На АЭС функционируют системы улавливания водяного пара, содержащего тритий для снижения опасности вдыхания трития персоналом, а также для снижения его концентраций в выбросах в окружающую среду. Также производится химический контроль состояния воды в контуре реактора для предотвращения образования коррозионных наростов, содержащих радионуклиды.

3. Защита работников экранами, временем и расстоянием. Устанавливаются портативные экранирующие материалы, позволяющие снижать мощность дозы непосредственно рядом с работником. Также обеспечивается дополнительное экранирование помещений, находящихся вблизи реактора. Устанавливаются классические экранирующие ALARA-элементы – сосуды или цистерны, заполненные водой.

Снижение времени облучения достигается при помощи специальных дозиметров-сигнализаторов, контролирующих время пребывания в радиационно-опасных зонах. Выдержка времени перед посещением зоны, где будут проводиться работы, позволяет снизить уровень дозового воздействия за счет распада короткоживущих изотопов, находящихся непосредственно в самой зоне.

Для защиты расстоянием используются устройства, позволяющие удаленно манипулировать источниками повышенной активности, сохраняя расстояние между источником и работником. Также используются роботизированные устройства на дистанционном управлении, позволяющие находиться работнику непосредственно в безопасной зоне. Примером использования такого оборудования на АЭС «Черноводэ» является устройство для осмотра топливных каналов активной зоны реактора.

4. Другие причины. Помимо вышеперечисленных, к факторам, повлиявшим на снижение дозовых нагрузок, относят качественную программу обучения персонала, планирование радиационных работ, использование средств индивидуальной защиты, проведение работ по дезактивации рабочих поверхностей и оборудования, качественную систему вентиляции рабочих помещений.

Таким образом реализация оптимизационных подходов на Дукованской и Черноводской атомных электростанциях позволила добиться существенного снижения облучения персонала, что продемонстрировано на рисунках 1 и 2. В целом, подходы, применяемые на этих АЭС, схожи, однако руководство каждой из станций действует в рамках своих финансовых возможностей и собственных предпочтений в выборе оптимизационных мероприятий.

Рекомендации для Белорусской АЭС

Белорусская АЭС – первая для Республики Беларусь атомная электростанция, реализованная в соответствии с инновационным проектом АЭС-2006, включающим в себя ряд усовершенствований и дополнений в системы безопасности и защиты, функционирующими не только при нормальной эксплуатации электростанции, но и при проектных и запроектных авариях.

На данный момент эксплуатации прошло недостаточно времени, чтобы судить о динамике значений коллективных доз персонала, а также оценке эффективности защитных мероприятий, проводимых на Белорусской АЭС для снижения этих доз. В связи с этим, состояние радиационной защиты, а также соблюдение принципов методологии ALARA на Белорусской АЭС требуют дальнейшего наблюдения и анализа.

Правительству, надзорным и регулирующим органам Беларуси, а также руководству Белорусской АЭС, в целях обеспечения оптимизации радиационной защиты персонала, следует руководствоваться и обмениваться опытом эксплуатации и оптимизации дозовых нагрузок персонала АЭС других стран, включая создание так называемого «комитета ALARA», ответственного за установление целевых показателей радиационной безопасности, разработку программы радиационной защиты, анализ и контроль процесса выполнения радиационных работ, внедрение оптимизационных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Публикация № 103 МКРЗ: рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиологической защите. Пер. с англ. / под общ. ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
2. *Stokell, P.J.* ALARA: From theory towards practice // P.J. Stokell [et al.]. – Luxembourg, 1991. – 220 p.
3. *Petrová, K.* Factors Contributing to the Reduction of Occupational Exposures at Dukovany NPP // K. Petrová [et al.] / Proceedings of the 2008 ISOE European Symposium. – Turku, Finland. – 10 p.
4. Occupational exposures at nuclear power plants. Twenty-fifth annual report of the ISOE programme / NEA/ISOE OECD. – Boulogne-Billancourt, 2017. – 120 p.
5. *Hau, D.I.* ALARA and radiation protection optimization status of Cernavoda NPP // D.I. Hau / International Youth Nuclear Congress 2000: Youth, Future, Nuclear. Transactions – Slovakia, 2000. – 3 p.

ДЕТЕКТОРЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ЭФФЕКТЕ УПРУГОГО КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ АНТИНЕЙТРИНО НА ЯДРАХ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

DETECTORS BASED ON THE EFFECT OF ELASTIC COHERENT SCATTERING OF ANTINEUTRINOS BY THE NUCLEI OF HEAVY ELEMENTS

О. М. Бояркин^{1,2}, А. А. Будько^{1,2}

O. M. Boyarkin^{1,2}, A. A. Budko^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kfm@iseu.by, budko.anzhelika@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

В данной работе рассматриваются детекторы, основанные на эффекте упругого когерентного рассеяния антинейтрино на ядрах тяжелых элементов. Представлены существующие детекторы, основанные на процессе обратного бета распада.

In this paper detectors based on the effect of elastic coherent scattering of antineutrinos on nuclei of heavy elements are considered. Existing detectors based on the process of inverse beta decay are presented.

Ключевые слова: реакция обратного бета-распада, детектирование антинейтрино, мониторинг атомных реакторов.

Keywords: inverse beta decay, antineutrino detection, nuclear reactor monitoring.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-248-251>

На сегодняшний день нейтрино остается одной из самых малоизученных частиц в современной физике. Будучи экспериментально обнаружено в 1956 году, оно и сейчас слабо поддается детальным исследованиям. Содействуют этому отсутствие у него электрического заряда, малая величина электрического и магнитного дипольных моментов, исчезающе малая масса (порядка нескольких эВ), а также очень маленькое сечение взаимодействия с другими элементарными частицами.

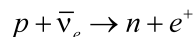
К настоящему времени проведено множество экспериментов, посвященных исследованию нейтрино. Но зарегистрировать (анти)нейтрино довольно сложно, что подводит нас к следующему выводу - для того, чтобы в каком-либо из экспериментов набрать достаточное количество статистики, необходимо иметь очень мощный источник (анти)нейтрино. Условно источники нейтрино можно разделить на два вида: естественные и искусственные. Естественные включают источники внеземного происхождения, такие как Солнце или вспышки сверх- и гиперновых звезд. Искусственные источники, в свою очередь, также могут быть двух типов: лабораторные (ускорительные комплексы) и атомные реакторы. Именно последние позволяют проводить исследования без огромного вложения средств, так как атомный реактор – коммерческое предприятие, а нейтринное излучение в нем носит сопутствующий характер.

Для оптимального функционирования ядерного реактора необходимо напрямую «видеть» то, что происходит внутри активной зоны работающего реактора. Причем следить за состоянием активной зоны следует в режиме реального времени. Знание того, насколько равномерно по объему активной зоны выгорает ядерное топливо, важно не только для безопасности работы реактора, но и с финансовой точки зрения: оно позволит оптимизировать работу реактора, повысит эффективность выработки ядерного топлива. Физическая проблема тут заключается в том, что в ядерный реактор просто так не заглянешь. Существует аппаратура контроля нейтронного потока, но она позволяет только следить за общей мощностью реактора, а восстанавливать по ее показаниям объемную неравномерность выгорания топлива можно лишь очень опосредованно.

Для прямого дистанционного наблюдения за активной зоной приходится использовать частицы со сверхвысокой проникающей способностью, и естественным кандидатом для этого являются антинейтрино. Эти частицы в большом количестве рождаются в ядерном реакторе и разлетаются из активной зоны, не замечая ни стенок реактора, ни окружающие постройки. Только в очень редком случае антинейтрино встречает всё же какой-то атом окружающего вещества и инициирует ядерную реакцию – именно так антинейтрино и регистрируют в детекторах. К сожалению, вероятность такого события чрезвычайно мала. Однако поскольку нейтринный поток от реактора огромен, то достаточно крупный детектор все-таки может не только надежно зарегистрировать реакторные

антинейтрино, но и измерить их поток. Если несколько таких детекторов поставить с разных сторон реактора то, сравнивая их показания, можно будет провести томографию активной зоны реактора – то есть выяснить, насколько однородно там выгорает топливо.

До настоящего времени в основе работы анти нейтринного детектора использовалась реакция обратного бета-распада:



Антинейтрино захватывается ядрами водорода, превращает протон в нейтрон и излучает позитрон. Далее позитрон аннигилирует с электроном мишени с испусканием фотона с четко определенной энергией 511 кэВ. Что же касается нейтрона, то он возбуждает ядро, специально введенного в установку гадолиния, а возбуждение получившегося ядра снимается испусканием фотона с граничной энергией до 8 МэВ. При этом характерное время между двумя этими событиями составляет 30–40 мкс, что делает сигнатуру захвата нейтрино очень четкой и позволяет эффективно отсекал сигнал от фона.

К настоящему времени существующие антинейтринные детекторы используются на АЭС и для научно-исследовательских целей [1]. Например, для Турецкой АЭС конструируется детектор на основе гексагональных сцинтилляторов. Национальная лаборатория Сандия совместно с Ливерморской национальной лабораторией разработали детектор SONGS1, который в настоящее время установлен возле атомного реактора SONGS мощностью 3,46 ГВт в Калифорнии (США). Данный детектор расположен в 24,5 м от реакторной зоны, за пределами бетонной защиты, что обеспечивает значительное снижение потока реакторных нейтронов и гамма-квантов. Детектор расположен на глубине 10 м под поверхностью Земли, что позволяет снизить поток космических мюонов в 7 раз. На АЭС Daya Bay, расположенной в 52 километрах к северу от Гонконга, работает установка, состоящая из восьми антинейтринных жидкосцинтилляционных детекторов, которые расположены в трёх экспериментальных залах. Источником антинейтрино являются шесть атомных реакторов с тепловой мощностью каждого около 3 ГВт, располагающихся на расстояниях от ~500 до ~1800 метров от детекторов. В России, совместными усилиями Объединенного института ядерных исследований, Московского инженерно-физического института, а также Московского физико-технического института создан детектор реакторных антинейтрино на основе твердого сцинтиллятора DANSS. Компактный (1м³) сильно-сегментированный (2500 пластин из пластического сцинтиллятора) антинейтринный спектрометр DANSS нацелен на поиск осцилляций в стерильном нейтрино, а также мониторинга мощности реактора и состава ядерного топлива. Спектрометр окружен пассивной и активной защитами и смонтирован на подвижной платформе под 4-м энергоблоком КАЭС. Измерения ведутся на рекордно малых расстояниях – 10–12 м от центра промышленного реактора. Данный детектор, сможет регистрировать порядка 5000 антинейтрино в сутки.

Сегодня мы наблюдаем прорыв в конструировании антинейтринных детекторов, который связан с использованием в качестве рабочей реакции детектора, процесса упругого когерентного рассеяния антинейтрино (УКРН) на ядрах тяжелых элементов.

Процесс УКРН на атомном ядре связан с соотношением неопределенности, а именно: при малых значениях импульса, переданного ядру, нейтрино взаимодействует не с отдельными его составляющими (нуклонами), а сразу со всем ансамблем, то есть когерентно [2]. Возможность такого процесса впервые была рассмотрена практически одновременно российскими и американскими учеными. Сечение такого процесса относительно велико, оно более чем на два порядка величины (для тяжёлых ядер) превосходит сечение других известных процессов взаимодействия нейтрино низких энергий. УКРН на атомном ядре превалирует при взаимодействии нейтрино с атомами и играет важную роль во Вселенной в процессах, сопровождающихся интенсивными потоками нейтрино. До недавнего времени, однако, не было экспериментальных подтверждений рассматриваемого процесса из-за больших технических трудностей его регистрации– энерговыделение при упругом когерентном рассеянии на тяжёлом ядре для нейтрино, имеющих энергию несколько десятков МэВ, происходит в кэВ-ной области, а для антинейтрино от ядерного реактора, средняя энергия которых составляет около 2 МэВ, в области нескольких сотен электронвольт. При этом для регистрации УКРН необходим низкопороговый детектор с большой массой, работающий в условиях низкого радиационного фона.

Процесс УКРН впервые наблюдался в 2017 году в международном эксперименте COHERENT на ускорительном комплексе Spallation Neutron Source (SNS) в Окриджской национальной лаборатории США при участии сотрудников межкафедральной лаборатории экспериментальной ядерной физики НИЯУ МИФИ в потоке нейтрино трёх различных типов (мюонных нейтрино и антинейтрино, и электронных нейтрино) с помощью 14,6 кг сцинтилляционного детектора. Более детальное изучение процесса УКРН требует его исследования на источниках нейтрино одного типа, например, электронных антинейтрино на ядерном реакторе.

После первого наблюдения процесса УКРН на атомном ядре стало очевидным, что исследования будут продолжены с использованием более чувствительных детекторов, а также в области более низких энергий, характерной для реакторного антинейтрино. Эта область является наиболее трудной, но, с другой стороны, и наиболее интересной с научной и практической точек зрения (нейтринный мониторинг ядерных реакторов). Поскольку задача первого наблюдения данного процесса уже перестаёт быть актуальной, ставка должна делаться на детекторы большой массы, с помощью которых можно проводить детальные исследования с большой статистической значимостью.

На сегодняшний день известно около десяти экспериментов, направленных на исследование УКРН при помощи различных детекторных технологий: COHERENT Окридж, США; CONNIE АЭС Ангра-2, Бразилия; vGeN

Калининская АЭС, Россия; CONUS АЭС Брокдорф, Германия; RICOCHET Гренобль, Франция; MINER Исследовательский реактор, США.

Несмотря на многообразие существующих экспериментальных программ, с точки зрения исследования УКРН, требующего массивного низкогопорогового детектора, наиболее перспективным выглядит использование двухфазных эмиссионных детекторов на сжиженных благородных газах, обладающих высокой чувствительностью к событиям с малым ионизационным выходом.

Детектором такого класса, вблизи ядерного реактора, является эмиссионный двухфазный детектор на жидком ксеноне РЭД-100 (Russian Emission Detector) [3]. Установка РЭД-100 нацелена на поиск и регистрацию редких событий в виде ядер отдачи с энерговыделением в килоэлектронвольтовой области в присутствии достаточно интенсивного фона, связанного, в частности, с космогенными мюонами. Такие условия характерны для работы детекторов, расположенных в нормальных лабораторных условиях практически на земной поверхности, в отличие от известного класса эмиссионных двухфазных детекторов, предназначенных для поиска темной материи и находящихся в низкофоновых лабораториях, в глубоком подземелье.

Двухфазный эмиссионный детектор РЭД-100 предназначен для регистрации упругого когерентного рассеяния антинейтрино на ядрах в условиях наземной лаборатории. Детектор включает 200 кг жидкого ксенона, находящегося в дрейфовом объеме. Регистрация фотонов с длиной волны ~ 175 нм из дрейфового объема детектора осуществляется посредством двух матриц по 19 штук низкотемпературных УФ-чувствительных ФЭУ. Работа РЭД-100 поддерживается несколькими системами, соединенными в единую установку. Детектор располагается внутри титанового криостата, а для его термостабилизации при температуре жидкого ксенона ~ 170 К применяется криогенная система на базе термосифонной технологии. Для удаления электроотрицательных и молекулярных примесей из ксенона применяется система очистки, а сигналы с двух матриц ФЭУ записываются системой сбора данных. С целью минимализации уровня радиоактивности вблизи чувствительного объема детектора, потенциально радиоактивные компоненты вынесены за пределы пассивной защиты, а в конструкции самого детектора использованы низкофоновые материалы. Детектор соединяется с основными системами через интерфейсный модуль при помощи гибких металлорукавов, в которых проходят высоковольтные и сигнальные кабели, а также газовые коммуникации.

В основе работы детектора РЭД-100 лежит эмиссионный принцип регистрации ионизирующих частиц. Взаимодействуя с плотной рабочей средой детектора, ионизирующая частица теряет свою энергию на возбуждение атомов жидкого ксенона и ионизацию. Переход возбужденных атомов ксенона в основное состояние приводит к генерации сцинтилляции. Образовавшиеся в процессе ионизации электроны вытягиваются электрическим полем в газовую фазу. При дрейфе в газе при наличии достаточно сильного электрического поля электроны возбуждают атомы среды, что приводит к генерации второго светового сигнала. Для регистрации световых сигналов применяются ФЭУ, разработанные для работы в жидком ксеноне и чувствительные к данной длине волны.

Установка РЭД-100 способна решить вопрос нераспространения ядерного оружия. Дело в том, что спектр испускаемых нейтрино сильно зависит от состава реакторного топлива. В процессе реакторной компании его состав сильно меняется: уран выгорает, а плутоний образуется. Если же из реактора производится выемка оружейного плутония и замена его ураном, это сразу воздействует на спектре антинейтрино. Состав ядерного топлива в реакторе можно определять по количеству антинейтрино и их энергии. Таким образом, международные органы контроля смогут обнаружить производство оружейного плутония. Детектор сможет работать длительное время и предоставлять информацию в реальном времени о состоянии реактора. Благодаря высокой проникающей способности нейтрино с помощью детектора РЭД-100 можно будет дистанционно проводить так называемую «томографию» активной зоны реактора, изучать ее изотопный состав. Создание такого прибора значительно повысит безопасность мировой атомной энергетики в целом. Данный прибор не имеет аналогов в мире. Он не только регистрирует потоки нейтрино, но и позволяет полностью контролировать процессы, происходящие в активной зоне реактора. Компактность прибора позволяет в будущем создать мобильную установку для независимого контроля за активной зоной ядерных реакторов.

Эксперименты с нейтрино на атомных станциях, в настоящее время, являются одним из самых перспективных направлений физики частиц и обладают большим потенциалом для будущих исследований. Они не требуют многомиллионных вложений и решают заманчивые экспериментальные задачи. Процесс УКРН имеет фундаментальное значение для описания процессов формирования Вселенной и эволюции звезд. Отклонения измеренного сечения взаимодействия УКРН от предсказаний Стандартной Модели могут быть использованы для поиска явлений за ее пределами. Кроме того, процесс УКРН можно использовать для изучения ядерных форм-факторов и магнитного момента нейтрино. Упругое когерентное рассеяние солнечных и атмосферных нейтрино является фоном для следующего поколения экспериментов по прямому поиску темной материи в виде массивных слабо-взаимодействующих частиц, поэтому экспериментальная информация о величине сечения УКРН поможет увеличить чувствительность этих экспериментов. Процесс УКРН также имеет важное значение для создания новой генерации относительно компактных детекторов для мониторинга состояния активной зоны ядерных реакторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение детекторов антинейтрино в ядерной безопасности: текущие возможности и будущие перспективы / А. Бернштейн [и др.] – 3-е изд., испр. – М.: Наука и всеобщая безопасность, 2010. – 398 с.
2. Упругое когерентное рассеяние нейтрино на атомном ядре - недавно обнаруженный тип взаимодействия нейтрино низких энергий: сб. ст. / Успехи физических наук; под ред. О. В. Руденко [и др.]. – М., 2019. – 173–186 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ПОЛЯ И ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА МАЛЫХ ПОЛЕЙ

DETERMINATION OF THE FIELD SIZE AND CHANGING THE ENERGY SPECTRUM OF SMALL FIELDS

В. С. Пискунов, С. В. Семёнов, Т. С. Чикова
V. S. Piskunov, S. V. Semenov, T. S. Chikova

*Витебский областной клинический онкологический диспансер,
г. Витебск, Республика Беларусь
x_serg@tut.by*

Healthcare Institution «Vitebsk Regional Clinical Oncological Center», Republic of Belarus

Изложены основные определения размера поля и разница между геометрическим и радиационным размерами у малых полей. Описаны изменения в энергетическом спектре фотонов с уменьшением размера поля. Показано, что размер полной ширины на половине максимума (full width at half maximum – FWHM) латерального профиля пучка является наиболее показательным и существенным параметром размера поля для точной дозиметрии малых полей. При описании данных по малым полям рекомендуется указывать как FWHM, так и геометрический размер поля.

The basic definitions of the field size and the difference between the geometric and radiation dimensions of small fields are described. Changes in the energy spectrum of photons with decreasing field size are described. It is shown that the full width at half maximum (FWHM) size of the lateral beam profile is the most indicative and essential parameter of the field size for accurate dosimetry of small fields. When describing data on small fields, it is recommended to specify both the FWHM and the geometric size of the field.

Ключевые слова: геометрический размер поля, радиационный размер поля, малые поля, латеральный профиль пучка, коллиматор, линейный ускоритель.

Keywords: geometric field size, radiation field size, small fields, lateral beam profile, collimator, linear accelerator.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-251-254>

В настоящее время благодаря использованию стандартных и дополнительных многолепестковых коллиматоров и лечебных аппаратов нового поколения в дистанционной лучевой терапии растёт использование малых статических полей. Повышается интерес к использованию таких методик облучения, как стереотаксическая радиохирurgia, стереотаксическая лучевая терапия тела, лучевая терапия с модуляцией интенсивности, в которых также широко используются малые поля. Точная дозиметрия малых полей важна при вводе в эксплуатацию линейных ускорителей.

Использование малых полей связано с увеличением неопределённости при проведении клинической дозиметрии. Наблюдаемые дозиметрические погрешности оказывают большее влияние на предполагаемый результат курса лучевой терапии, чем при использовании стандартных радиационных полей. В связи с этим решение проблемы дозиметрии радиационных полей малых размеров, требований к ним и определение физических условий, при которых внешний фотонный пучок может быть обозначен как малое поле является важно научно-практической задачей.

Международная электротехническая комиссия (IEC) предоставляет два различных определения размеров поля [1]:

– Геометрический размер поля определяется как геометрическая проекция открытия коллиматора от источника излучения на плоскость, перпендикулярную оси пучка;

– Радиационный размер поля - величина области, определяемая изодозными линиями в плоскости, перпендикулярной оси пучка излучения.

Геометрический размер поля соответствует световому полю, что соответствует настройке коллиматора с плоскими краями, т.е. формирующего только прямоугольные поля. В широких пучках размер полной ширины на половине максимума (full width at half maximum – FWHM) латеральных профилей, то есть радиационный размер поля, определённый на уровне 50% относительной дозы, равен размеру поля, определённому настройками коллиматора, что соответствует геометрическому размеру поля. В этом случае, размер поля, определённый

настройками коллиматора, будет точно соответствовать размеру FWHM латерального профиля пучка на глубине изоцентра, и измерение FWHM является обычным способом проверки установленного размера поля. Однако в малых полях из-за частичного перекрытия первичного источника фотонов и потери латерального равновесия заряженных частиц (lateral charged particle equilibrium – LCPE), приводящей к резкому уменьшению выхода пучка, это соответствие нарушается (рис. 1). Поскольку максимальное значение дозы по центральной оси уменьшается, FWHM определяется по более низкому положению на кривой полутени. Следовательно, размер FWHM результирующего поля не совпадает с геометрическим определением поля. Таким образом, радиационный размер поля, определенный на уровне 50% относительной дозы, становится шире, чем геометрический размер поля, определяемый проектируемыми настройками коллиматора. Для данного расстояния от источника до детектора (SDD source-to-detector distance) этот эффект зависит от расстояния от источника до коллиматора.

Отсутствие информации о том, задан ли размер поля как размер FWHM латерального профиля пучка или как размер, проектируемый коллиматором, усложняет интерпретацию данных о коэффициентах радиационного выхода полей, опубликованных в литературе. Поэтому рекомендуется, чтобы публикация всех данных по малым полям, таких как коэффициенты радиационного выхода, сопровождалась конкретными пояснениями о том, как определяется размер поля. Было показано, что отклик детектора и возмущение зависят от радиационного размера поля, определенного на уровне 50 % относительной дозы, т. е. от размера FWHM на глубине измерения, а не от установленного коллиматором размера [3]. Анализ литературных данных по коррекции возмущений детектора показывает, что ошибки, допущенные при некорректном выборе размера поля, могут быть существенными. Рекомендуется использовать размер FWHM для коррекции возмущений детектора в зависимости от размера поля. Таким образом, можно сделать вывод, что размер FWHM латерального профиля пучка является наиболее показательным и существенным параметром размера поля для точной дозиметрии малых полей. Чтобы облегчить установление взаимосвязи между FWHM и геометрическим размером поля, также рекомендуется указывать как FWHM, так и геометрический размер поля при описании данных по малым полям.



Рисунок 1 – Влияние перекрывающихся полутеней на размер FWHM латерального профиля пучка для малых полей, иллюстрирующее расширение поля по сравнению с размером поля по настройкам коллиматора [2].

Первичная коллимация фотонов, выходящих из мишени, осуществляется с помощью вольфрамового коллиматора с коническим отверстием под углом приблизительно 14 градусов. Коническая часть первичного коллиматора цилиндрически симметрична относительно центральной оси пучка. Этот коллиматор размещается сразу же после мишени и отсекает фотоны, которые находятся за пределами заданной расходимости от центральной оси пучка. Коническое отверстие первичного коллиматора определяет максимальный размер поля излучения. Этот максимальный размер далее изменяется с помощью шторок и вторичной коллимации (рис. 2).

Диаграмма направленности тормозных фотонов имеет ярко выраженный максимум в центре. Для выравнивания диаграммы направленности используется конический выравнивающий фильтр. На ускорителях, предусматривающих работу при различных энергиях, фильтры меняются. Фильтр выравнивает фотонный пучок и отсекает фотоны низких энергий без изменения формы спектра для более высоких энергий.

В дополнении к выравнивающей функции фильтра показано его значительное влияние на поле фотонов. С одной стороны, фильтр рассеивает фотоны, тем самым уменьшая среднюю энергию фотона образованием пары и комптоновским рассеянием, и поглощает фотоны низких энергий, что приводит к увеличению жесткости

излучения. С другой стороны, фильтр снижает общую интенсивность фотонного пучка и создает загрязняющее воздействие заряженными и незаряженными частицами. Выравнивающий фильтр является основным источником рассеянного излучения. Он дает вклад в дозу на оси пучка от 10% до 20% в зависимости от конструкции головки ускорителя и размера поля. Точная установка фильтра является критичной по отношению к пучку [6].

Коллиматор, посредством которого задается малое поле, не только перекрывает первичный источник фотонов, но также экранирует фотоны, которые рассеиваются различными компонентами внутри головки линейного ускорителя, включая сглаживающий фильтр и первичный коллиматор. Таким образом, количество фотонов низкой энергии, рассеянных от первичного коллиматора, сглаживающего фильтра и других компонентов в головке линейного ускорителя, достигающих центра малого поля, уменьшается. Однако для широких полей может быть повышенный относительный вклад фотонов, рассеянных в лечебной головке. Кроме того, величина рассеяния в фантоме также уменьшается для малого поля по сравнению с широким полем. Эти два эффекта приводят к тому, что энергетический спектр фотонов становится более жестким в любой точке на оси пучка с уменьшением размера поля и увеличением средней энергии фотонов по сравнению с условиями широкого поля.

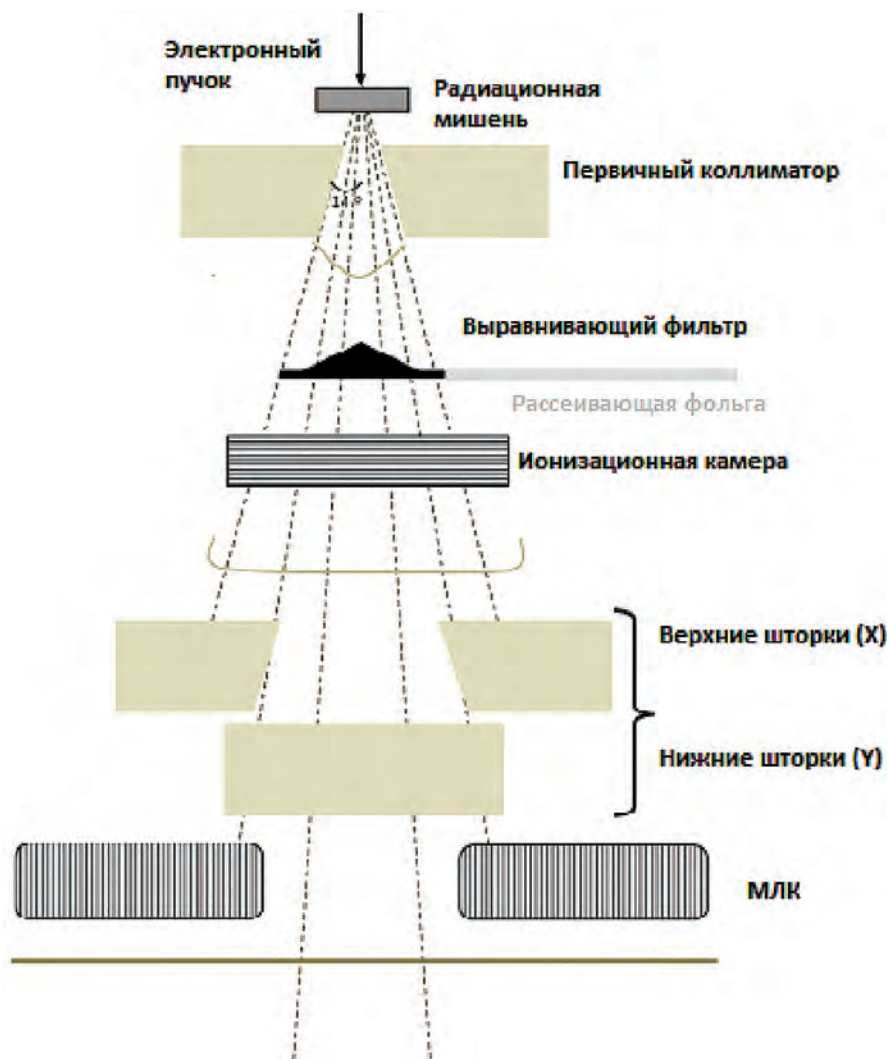


Рисунок 2 – Компоненты типичной головки линейного ускорителя (фотонный режим) [6].

Это приводит к изменению отношения массовых коэффициентов поглощения энергии между водой и материалом детектора (например, отношение массовых коэффициентов поглощения энергии вода-кремний будет увеличиваться с уменьшением размера поля). Дополнительный эффект, который играет роль, заключается в том, что, когда поле слишком мало для достижения LCPE, будет дефицит электронов с низкой энергией, достигающих центральной оси, что приведет к увеличению средней энергии электронов, что также может повлиять на отношение тормозных энергий.

Моделирование методом Монте-Карло показывает, что, хотя спектр плотности потока фотонов значительно изменяется в зависимости от размера поля, спектр заряженных частиц, образующихся в воде, подвергается гораздо меньшему влиянию. Таким образом, влияние размера поля на отношение тормозных способностей вода-воздух уменьшается не более чем на 0,5 % на глубине 10 см в пучке фотонов мощностью 6 MV в диапазоне размеров поля от 10 см × 10 см до 0,3 см × 0,3 см [4, 5]. Даже в диапазоне глубин от глубины максимальной дозы до глубины 30 см разница не превышает 1% [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment: Glossary of Defined Terms, IEC TR 60788, IEC, Geneva, 2004. – 6 p.
2. Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Reference and Relative Dose determination. / IAEA TRS 483. Vienna, 2017. – 14 p.
3. A methodological approach to reporting corrected small field relative outputs / G. Ranmer-Sargison [et al.]. // Radiother. Oncol. – 2013. – Vol. 109. P. 350–355.
4. Eklund, K. Fast modelling of spectra and stopping-power ratios using differentiated fluence pencil kernels / K. Eklund, A. Ahnesjö // Phys. Med. Biol. – 2008. – Vol. 53. P. 4231–4247.
5. Ionization chamber dosimetry of small photon fields: A Monte Carlo study on stopping-power ratios for radiosurgery and IMRT beams / Sanchez-Doblado F. [et al.]. // Phys. Med. Biol. – 2003. – Vol. 48. P. 2081–2099.
6. Podgorsak E. B. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005, – 696 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НИФХИ ИМ. Л. Я. КАРПОВА В 2020 ГОДУ STUDY OF RADIONUCLIDE CONTENT IN SOIL IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE KARPOV INSTITUTE OF PHYSICAL CHEMISTRY IN 2020

Я. В. Непогодина¹, А. А. Удалова¹
Y. V. Nepogodina¹, A. A. Oudalova¹

¹ИАТЭ НИЯУ МИФИ
г. Обнинск, Российская Федерация
dragonflynepogodina@gmail.com
oudalova@mail.ru

¹IAE National Research Nuclear University MEPhI
Obninsk, Russian Federation

Радионуклиды природного происхождения (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и другие) содержатся в объектах окружающей среды, их излучение вносит вклад в радиационный фон планеты. Также в результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду поступают долгоживущие техногенные радионуклиды, например ^{137}Cs . Наилучший способ наглядно продемонстрировать реальную экологическую опасность или безопасность ядерных и радиационных технологий – это получить результаты независимого обследования состояния окружающей среды вблизи действующего предприятия соответствующего профиля, что позволяет предупредить негативные последствия.

Radionuclides of natural origin (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and others) are contained in environmental objects, their radiation contributes to the radiation background of the planet. Also, as a result of human activities in the environment enter long-lived man-made radionuclides, such as ^{137}Cs . The best way to demonstrate the real environmental hazard or safety of nuclear and radiation technologies is to obtain the results of an independent survey of the environment near an operating enterprise of the relevant profile, which makes it possible to prevent negative consequences.

Ключевые слова: радиационно опасный объект, естественные радионуклиды, радиоцезий, почва, загрязнение окружающей среды.

Keywords: radiation hazardous object, natural radionuclides, radiocaesium, soil, environmental contamination.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-254-258>

Для оценки экологической безопасности ядерно опасных предприятий необходимо изучать закономерности поведения естественных и техногенных радионуклидов в прилегающих природных экосистемах. В отличие от объектов ядерной энергетики, воздействие на окружающую среду предприятий неэнергетического профиля (например, производящих радиофармпрепараты) изучено недостаточно. Одним из таких объектов является расположенный в г. Обнинске Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова (НИФХИ), в зоне влияния которого с 2018 г. проводится радиоэкологический мониторинг природной среды. Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова имеет экспериментально-исследовательский комплекс, который включает исследовательскую ядерную установку типа ВВР-ц, ускорители электронов, облучательные установки на основе радионуклида ^{60}Co .

Целью данной работы является изучение содержания гамма-излучающих радионуклидов в почвах в зоне влияния производственной деятельности НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Отбор проб почвы проводился в июле 2020 г. в 19 точках санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения НИФХИ (рис. 1). Точки отбора расположены с разных сторон от предприятия, при выборе мест пробоотбора учитывалась роза ветров. Точки 1.6, 1.10, 2.6, 2.7, 2.7а, 2.8 находятся на открытой местности с луговой растительностью; почвы по большей части являются антропогенно нарушенными. Остальные точки расположены в лесных насаждениях. На каждой пробоотборной площадке пробы почвы отбирались методом конверта в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [1] (пробы почвы массой 1–2 кг отбираются в пяти точках, расположенных в углах и центре квадрата со стороной 10 м с глубины до 20 см, из которых на месте готовится смешанная проба массой 3–4 кг). В точках 1.9 и 2.4 из-за особенностей рельефа были взяты точечные пробы. Почвенные образцы упаковывались в двойные полиэтиленовые пакеты и подписывались.



Рисунок 1 – Расположение точек отбора проб почвы в СЗЗ и ЗН НИФХИ

Измерение удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K проводилось в НИЯУ МИФИ методом гамма-спектрометрии при помощи сцинтилляционного гамма-спектрометра «Прогресс-гамма».

Гамма-спектрометр представляет собой стационарную установку со сцинтилляционным блоком детектирования на основе кристалла йодистого натрия NaI(Tl) , ПЭВМ с программным обеспечением «Прогресс» (программа «Прогресс») для управления всеми режимами работы на всех этапах выполнения измерений, обработки результатов и их протоколирования.

Проведено исследование физико-химических свойств почв: диагностика почв по гранулометрическому составу проводилась «мокрым» методом, определение полной влагоёмкости проводилось гравиметрическим методом, кислотности – потенциометрическим методом, удельной электропроводности (УЭП) – кондуктометрическим методом.

Установлено, что 19 образцов почвы распределяются по механическому составу на три вида: песок, супесь, лёгкий суглинок. Из них 8 образцов являются песком, 9 образцов – супесью, 2 образца – лёгким суглинком.

Показатель полной влагоёмкости отражает способность почвы удерживать влагу. Его величина зависит от пористости почвы, а следовательно, от ее гранулометрического состава. Среднее значение полной влагоёмкости для песчаной почвы составляет $32,8 \pm 2,1$ %; для супесчаной почвы – $38,8 \pm 2,3$ %. Для лёгкого суглинка достигается наибольшее значение – $41,7 \pm 1,0$ % (рис. 2). Идёт увеличение полной влагоёмкости с утяжелением гранулометрического состава почвы.

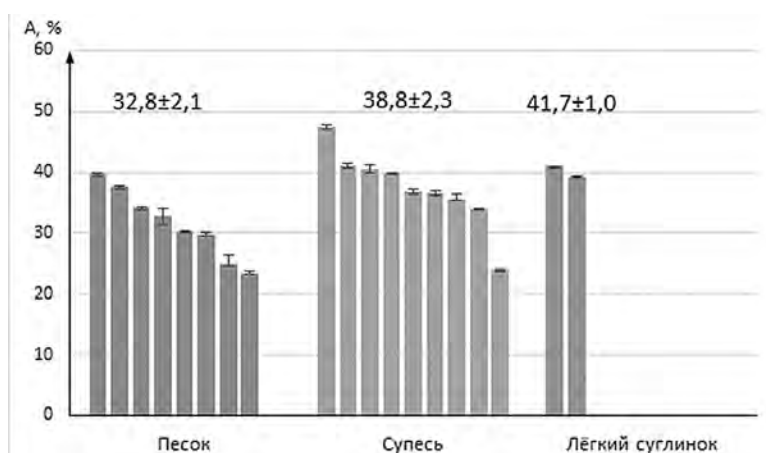


Рисунок 2 – Полная влагоёмкость (%) в зависимости от типа почвы в 2020 г.

Большое значение для экотоксических свойств почвы и поведения загрязняющих веществ имеет кислотность почвы. Актуальная кислотность связана с активностью H^+ -ионов в жидких фазах почвенных систем и характеризуется величиной pH (рис. 3).

Отобранные пробы почвы обладают значениями pH в диапазоне 5,1–8,4 и варьируются от слабокислых до слабощелочных образцов. Точки с высокой кислотностью в основном расположены в лесу восточнее НИФХИ. Действительно, в регионе распространены дерново-подзолистые почвы, которые характеризуются высокой исходной кислотностью и слабой насыщенностью основаниями.

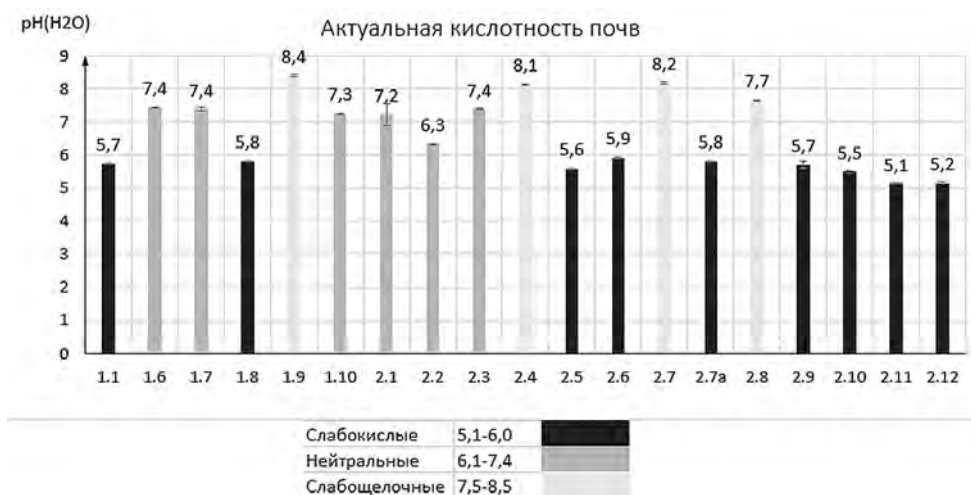


Рисунок 3 – Результаты определения pH в почве в зоне влияния НИФХИ в 2020 г.

Удельная электропроводность почв (УЭП) варьируется от 17,4 до 110,3 мкСм/см, что говорит о крайне малом содержании солей в изученной почве (рис. 4). Нейтральные и кислые почвы обладают гораздо меньшей электропроводностью в сравнении со слабощелочными почвами. Существует корреляция электропроводности с ёмкостью катионного обмена, поэтому обнаруженные низкие значения УЭП в почвах вблизи НИФХИ могут также сигнализировать об их низкой сорбционной способности.

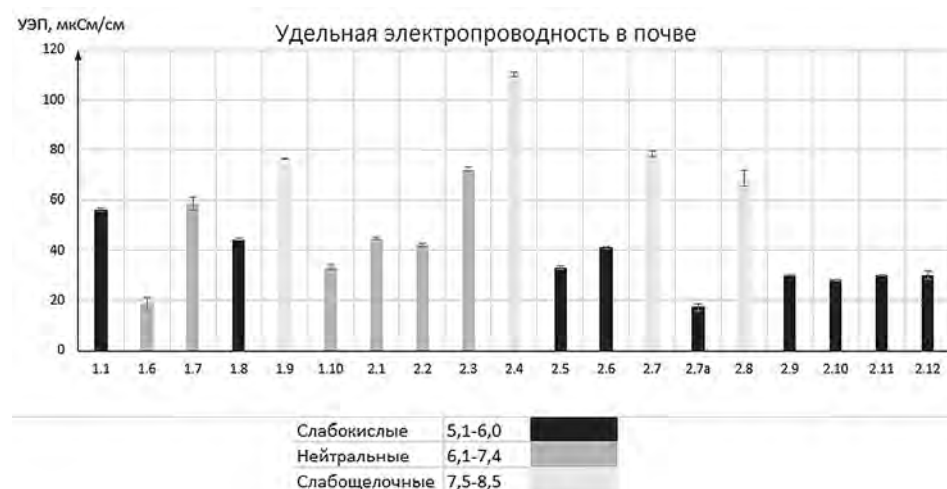


Рисунок 4 – Результаты определения УЭП в почве в зоне влияния НИФХИ в 2020 г.

Для первичного радиоэкологического обследования территории в пробах почвы определяли содержание гамма-излучающих радионуклидов естественного (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенного (^{137}Cs) происхождения. По литературным данным, фоновые значения для Московского региона составляют: для ^{226}Ra – 22 Бк/кг, ^{232}Th – 40 Бк/кг, ^{40}K – 560 Бк/кг, ^{137}Cs – 9 Бк/кг [2].

Согласно полученным данным, удельная активность ^{226}Ra в почве находится в диапазоне от $8,7 \pm 2,4$ до $19,1 \pm 3,9$ Бк/кг, со средним значением $13,3 \pm 0,1$ Бк/кг. Все значения удельной активности радия ниже фонового содержания для Московского региона.

Активность ^{232}Th находится в диапазоне от $9,9 \pm 2,8$ до $24,9 \pm 4,5$ Бк/кг со средним значением $16,5 \pm 0,1$ Бк/кг. Все значения удельной активности для тория значительно ниже фонового содержания для Московского региона.

Удельная активность ^{40}K изменяется в диапазоне от $247,1 \pm 52,8$ до $425,3 \pm 82,3$ Бк/кг со средним значением $337,4 \pm 1,9$ Бк/кг. Полученные значения полностью соответствуют сведениям о типичном содержании данных радионуклидов в почвах Московского региона.

Удельная активность техногенного ^{137}Cs варьирует от $0,00\pm 0,9$ до $9,1\pm 2,3$ Бк/кг в разных пробах, со средним значением $4,0\pm 0,1$ Бк/кг. Наибольшие значения, зафиксированные в точках 1.1, 1.8, 2.5, 2.9, 2.11, 2.12, приближены к фоновому содержанию цезия для Московского региона. Повышенные значения цезия в основном обнаружены в точках, расположенных в лесу восточнее НИФХИ, что возможно из-за глобальных выпадений.

Таким образом, содержание техногенного радионуклида ^{137}Cs в почве в зоне влияния НИФХИ находится на уровне региональных фоновых значений, а содержание естественных радионуклидов – ниже регионального фонового уровня.

Прослеживается взаимосвязь кислотности почв и средней удельной активности радионуклидов. Содержание радионуклидов в кислых почвах в среднем выше, чем в нейтральных и слабощелочных. Таким образом, рост кислотности почвенного раствора существенно влияет на процессы поглощения и закрепления радионуклидов почвой, следовательно, и на интенсивность перехода радионуклидов из почвы в растения (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость содержания радионуклидов от кислотности почв

Кислотность	Средняя удельная активность, Бк/кг			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Слабокислая	$6,1\pm 1,0$	$14,8\pm 1,2$	$18,1\pm 1,6$	$359,4\pm 15,9$
Нейтральная	$3,3\pm 1,0$	$12,3\pm 0,8$	$14,6\pm 1,2$	$322,4\pm 11,8$
Слабощелочная	$0,3\pm 0,2$	$10,5\pm 0,4$	$12,4\pm 2,0$	$283,0\pm 22,3$

Гранулометрический состав почв оказывает большое влияние на адсорбцию радионуклидов почвами. Сорбционная поверхность частиц песчаной фракции минимальна, а у глинистой фракции – максимальна, это означает, что способность к накоплению радионуклидов возрастает от “лёгких” почв к более “тяжелым” (табл. 2).

Таблица 2 – Зависимость содержания радионуклидов в почве от гранулометрического состава

Тип почвы	Средняя удельная активность, Бк/кг			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Песок	$1,5\pm 1,0$	$10,6\pm 0,5$	$13,6\pm 1,7$	$301,1\pm 15,0$
Супесь	$5,2\pm 1,0$	$15,0\pm 1,0$	$17,8\pm 1,2$	$353,6\pm 11,7$
Лёгкий суглинок	$7,5\pm 0,8$	$15,5\pm 0,3$	$20,9\pm 2,4$	$391,7\pm 33,6$

Для более полного исследования зависимости содержания радионуклидов от физико-химических свойств почвы был проведён корреляционный анализ данных. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Корреляция между содержанием радионуклидов и физико-химическими показателями почв

Свойства почв	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Полная влагоёмкость	0,72	0,61	0,48	0,41
Удельная электропроводность	-0,42	-0,28	-0,20	-0,40
Кислотность	-0,78	-0,48	-0,33	-0,45

Приведённые коэффициенты корреляции позволяют получить более чёткие сведения о зависимости содержания радионуклидов от свойств почвы. Положительный коэффициент показывает прямую зависимость свойства от характеристики. Так, с ростом полной влагоёмкости увеличивается содержание радионуклидов в почве. Влагоёмкость возрастает с увеличением глинистых фракций в почве.

Кислотность и удельная электропроводность имеют обратную зависимость характеристик, при снижении показателей pH и УЭП наблюдается увеличение удельной активности радионуклидов в почве. Самое высокое влияние на распределение радионуклидов оказывает кислотность, затем следует полная влагоёмкость и удельная электропроводность.

С учётом вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1) по гранулометрическому составу почвы относятся к песчаным, супесчаным и легкосуглинистым, среднее значение полной влагоёмкости возрастает в ряду «песчаная>супесчаная>лёгкий суглинок»;

2) отобранные пробы почвы обладают значениями pH в диапазоне 5,1–8,4 и варьируются от слабокислых до слабощелочных образцов. Нейтральные и кислые почвы обладают гораздо меньшей электропроводностью в сравнении со слабощелочными почвами;

3) полная влагоёмкость оказывает прямое влияние на рост содержания радионуклидов, кислотность и удельная электропроводность имеют обратную зависимость характеристик;

4) самое высокое влияние на распределение радионуклидов оказывает кислотность, затем следует полная влагоёмкость и удельная электропроводность.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
2. Лащенко Т., Зозуль Ю. Определение фонового содержания радионуклидов и тяжелых металлов в почве / Атомная энергия, 2006. – Т. 100, вып. 3. – С. 231–237.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕДУР РАДОНОТЕРАПИИ ENSURING RADIATION SAFETY DURING RADON THERAPY PROCEDURES

А. С. Невдах, Т. В. Дашкевич
A. S. Nevdakh, T. V. Dashkevich

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ), г. Минск, Республика Беларусь
drns@iseu.by, nastyanevdakh01@bk.ru, dashkevich.tv@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Радонотерапия – это вид медицинского лечения с использованием природного газа радона в определенных количествах для снятия хронической боли и усталости. Лечебные дозировки радоновых процедур должны располагаться в диапазоне между минимально действующей и максимально допустимой. Это необходимо для эффективного лечения и в то же время для обеспечения радиационной безопасности больных. Альфа-излучение оказывает на клетки кожи и других органов прямое действие, а через раздражение рецепторов и передачу сигналов и вторичное, за счет активации центральных звеньев нервной, эндокринной и иммунной систем организма. Индивидуальный контроль доз облучения является обязательным для персонала, контролирующему процедуру. Персонал должен знать и строго соблюдать инструкцию, техники безопасности, нормы радиационной безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии.

Radon therapy is a type of medical treatment using natural radon gas in certain amounts to relieve chronic pain and fatigue. Therapeutic dosages of radon procedures should be in the range between the minimum effective and maximum permissible. This is necessary for effective treatment and at the same time to ensure the radiation safety of patients. Alpha radiation has a direct effect on the cells of the barrier, as well as other organs, and through the irritation of various receptors in these organs also indirectly, due to the activation of the central links of the nervous, endocrine and immune systems. Individual control of radiation doses is mandatory for the personnel supervising the procedure. Personnel must know and strictly follow the instructions, safety regulations, radiation safety standards, fire safety and industrial sanitation.

Ключевые слова: радон, радонотерапия, радиационная безопасность.

Keywords: radon, radon therapy, radiation safety.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-258-261>

Введение. Изотопы ряда радия в природе распространены повсеместно. В связи с этим радий, радон и его дочерние продукты содержатся в почве, воде и атмосферном воздухе. В больших концентрациях радон содержится в водах ряда радиоактивных целебных источников. Помимо радона, в воде некоторых целебных источников могут выявляться в повышенных концентрациях уран, радий, торий [1].

Изотопы радона и его дочерние продукты в виде радоновых ванн, радоновой воды для питья, воздушно-радоновых смесей для вдыхания, радоновых аппликаторов широко используются в лечебной практике. При радоновых процедурах радон проникает в ткани организма, образуются дочерние продукты распада, также оседающие на кожу больного из лечебной среды (вода или воздух). Лечебное действие радона и его ДПР обусловлено их радиоактивными свойствами, а именно альфа-излучением. Поэтому радоновые процедуры относят к альфа-терапии.

Во время процедуры радон на некоторое время накапливается в кожных покровах, образуя «депо», затем он может переноситься с кровью или диффундировать в другие органы и ткани, одновременно выделяясь через легкие с выдыхаемым воздухом. За время приема ванны, содержащей радон в высоких концентрациях происходит

внешнее облучение тела человека, путем облучения кожи и близлежащих органов. Также важное место имеет облучение не самим радоном, а его ДПР. При питье радоновой воды радон из желудка поступает в окружающие органы, а также в кровь. Период полувыведения составляет 30-50 минут. Индивидуальный контроль доз облучения является обязательным для персонала. Персонал должен быть обеспечен индивидуальными дозиметрами. Индивидуальный контроль за облучением персонала включает: постоянный контроль за дозами облучения персонала; измерение мощности дозы гамма-излучения в воздухе помещений 1 раз в год; измерение объемной активности радона в воздухе рабочих помещений и применяемых природных водах 1 раз в год.

Основная часть. В окружающую среду радон поступает из различных источников. Большая часть выделяется из различных твердых пород в земной коре и переносится к поверхности потоками грунтовых вод. Концентрации радона в воде зависят от концентрации тория, урана, радия и других материнских элементов в горных породах, омываемых ею, коэффициента эманирования, пористости или трещиноватости горных пород и скорости движения воды. Рыхлые или трещиноватые породы характеризуются повышенными концентрациями радона. Количество радона в воде выше количества радия в десятки и сотни раз [2].

Наиболее высокие концентрации радона имеют подземные воды трещиноватой структуры магматических пород. Трещинные воды известняков, песчаников, сланцев обычно имеют концентрацию радона в пределах 10-100 Бк/л. Чем выше к поверхности земли, тем меньше концентрация растворенного радона. Причина этого – переход радона (эманирование) в атмосферный воздух, а также его радиоактивный распад. Наименьшие концентрации радона отмечают в морской воде, что связано, кроме перечисленных причин, еще и с низким содержанием радионуклидов-предшественников. Радиоактивность открытых водоемов суши зависит не только от химического состава пород, но и от типа питания водоема и климатических условий. При грунтовом типе питания радиоактивность воды выше, при поверхностных – ниже [3].

Кристаллические породы обычно имеют более высокие концентрации урана, чем осадочные. Примером пород, которые имеют повышенную концентрацию урана, являются граниты, пегматиты, кислые вулканические породы, а также кислые гнейсы. Только незначительная часть радона, который аккумулируется в воде, накапливается из растворенного в воде радия. Поэтому самые высокие уровни радона в воде встречаются в водах, омывающих кристаллические породы сильной трещиноватости обогащенные радием, а также омывающих пески, в которых произошло переотложение радия, вымытого ранее из кристаллических пород.

В зимний период в воде рек, покрывающихся льдом, радон накапливается в большей степени, чем летом. Кроме того, при повышении температуры растворимость радона в воде уменьшается.

Главный источник поступления радона и его ДПР в организм человека – воздух; второстепенные источники – питьевая вода, радоновые процедуры, применяемые в медицинских учреждениях. Основной путь проникновения в организм – органы дыхания, но в зависимости от обстановки, при приеме радоновых ванн, эту роль может выполнять кожа.

Изотопы радона – α -активные радионуклиды. Их биологическая опасность во много раз превосходит опасность внутреннего облучения β -, γ -излучателями. Положительно заряженные и тяжелые α -частицы при взаимодействии с веществом расходуют свою энергию на ионизацию и возбуждение атомов среды вплоть до полного торможения. В конце пробега, когда скорость частицы падает, отдача энергии частицами максимальна. Высокое содержание радона и его ДПР в воздухе является радиационным фактором возникновения онкологических заболеваний органов дыхания.

Радон легко растворяется в крови, воде и других жидкостях организма, значительно лучше растворяется в жирах, что обуславливает эффективное поглощение его жировыми тканями при поступлении в организм.

Радон – это проблема и исцеление, т.к. он является одновременно и вредным, и полезным элементом, причем в одной и той же сфере – в воздействии излучения на живые организмы.

Учитывая короткий период полураспада, радиобиологический эффект самого радона невелик, действуют в основном его дочерние продукты – радионуклиды полония, висмута и свинца. Проникая в верхние дыхательные пути и оседая в них, они создают локальные очаги облучения клеток.

Первичное взаимодействие излучающего вещества с тканями происходит в результате ионизации атомов и молекул, их возбуждения. Воздействию продуктов радиолитического распада подвергаются нервные рецепторы, иммунные клетки, молекулы нуклеиновых кислот, белковые молекулы и другие соединения и структуры, ответственные за местные и общие реакции организма на действие физико-химических раздражающих агентов. Альфа-излучение оказывает на клетки барьерных, а также других органов прямое действие, а через раздражение различных рецепторов в этих органах также и опосредованное, за счет активации центральных звеньев нервной, эндокринной и иммунной систем. Под влиянием альфа-излучения радона и его ДПР меняется функциональная химическая активность молекул белка, что может приводить к усилению или ослаблению ими рецепции отдельных биогенных аминов, в связи с чем меняется действие этих аминов на различные образования. Уравновешивание нервных процессов, ускорение процессов торможения в центральной нервной системе подтверждены многими клиническими и функциональными методами исследований, свидетельствующими о седативном и болеутоляющем действии радоновых процедур [4].

В санатории «Радон» в качестве источника ионизирующего излучения применяются природные воды, содержащие радионуклиды ^{222}Rn объемной активностью до 2,5 кБк/л. Основным видом радиационного воздействия, которому подвергается персонал при выполнении работ с источником излучения, является общее внешнее облучение всего тела.

Общие принципы обеспечения радиационной безопасности при проведении процедур радонотерапии изложены в документах:

1. СНиП «Требования к радиационной безопасности» и ГН «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения РБ, с дополнением, утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28 декабря 2012 №213.

2. СНиП «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 №137.

3. СанПиН 2.6.12-6-2005 «Гигиенические требования к устройству, оборудованию и эксплуатации радоновых лабораторий, отделений радонотерапии (радонолечебниц)», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 01.04.2005 №38.

4. Закон Республики Беларусь от 18 июля 2019 г. №198-3 «О радиационной безопасности».

5. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 31 мая 2010 г. № 22 об утверждении норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с источниками ионизирующего излучения. Общие положения».

6. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 16 апреля 2020 г. №18 «Об обучении и проверке (оценки) знаний по вопросам ядерной и радиационной безопасности».

Для работников (персонала) средняя годовая эффективная доза равна 20 мЗв; допустимо облучение в годовой эффективной дозе до 50 мЗв при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 20 мЗв. Для женщин в возрасте до 45 лет эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, согласно СНиП «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников, ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 №137. Общие принципы обеспечения радиационной безопасности при проведении процедур радонотерапии изложены в нормативных документах. При работе с источниками ионизирующего излучения должны проводиться дозиметрический и радиометрический контроль, соблюдаться требования безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения [4].

При приеме радоновой ванны радон поступает в организм больного в основном через кожные покровы. Во время процедуры радон на некоторое время скапливается в основном в коже больного, образуя «депо», затем он частично переносится кровью или диффундирует в другие органы. Растворенные в воде ванны продукты распада радона, оседая на коже, образуют на ней так называемый активный налет, величина которого пропорциональна содержанию в воде ДПР и сильно возрастает при движении воды или погруженного в нее тела. Содержание ДПР на коже увеличивается и в зависимости от продолжительности процедуры.

За время приема ванны и в течение нескольких часов по выходе из нее организм больного подвергается облучению за счет распада некоторой части проникшего в организм радона и образующихся из него ДП, а также за счет распада ДП, осевших на поверхности кожи из воды ванны. Накопление радона в организме при этой процедуре происходит интенсивнее у молодых, зависит от пола (у женщин радона накапливается на 60% больше, чем у мужчин), телосложения и ряда других причин).

Воздушные радоновые ванны (ВРВ) обладают теми же полезными свойствами, что и водные радоновые ванны, однако легче переносятся ввиду отсутствия нагрузочного действия воды на сердце. Как показали исследования, при одинаковых концентрациях радона в воде и воздушной смеси поглощенная доза альфа-излучения в ВРВ увеличивается в 4,5 раза, т.е. лечебный эффект радоновых ванн концентрации 8–10 нКи/л (0,38 кБк/л) равноценен эффекту водной радоновой ванны концентрации 40 нКи/л (1,5 кБк/л).

При вдыхании воздушно-радоновой смеси радон проникает в кровь через легкие. ДПР, содержащиеся во вдыхаемом воздухе, частично осаждаются в органах дыхания, где в основном распадаются.

Концентрация радона в крови у человека составляет обычно 0,3–0,45 % от концентрации его во вдыхаемом воздухе.

Период полувыведения радона из организма после вдыхания воздуха с радоном составляет 10–12 мин

При питье радоновой воды радон из желудка диффундирует в окружающие органы, а также всасывается в кровь. С венозной кровью радон поступает в печень, затем в сердце и легкие. При однократном прохождении крови через легкие теряется 2/3 содержащегося в ней радона [4].

С целью снижения уровней облучения пациентов, лиц, обеспечивающих комфорт и уход за пациентами, и лиц, добровольно участвующих в биомедицинских исследованиях, устанавливаются диагностические референтные уровни и граничные дозы. Значения диагностических референтных уровней будут зависеть от типа ситуации медицинского облучения при рентгенологической и радионуклидной диагностике.

При планировании облучения пациентов и оценке соотношения риск-польза необходимо использовать эквивалентную дозу или поглощенную дозу в облучаемых тканях. Эффективная доза может быть использована при сравнении различных диагностических процедур или одних и тех же технологий, и процедур, используемых различными организациями здравоохранения или в разных странах, а также при использовании разных технологий для проведения одного и того же медицинского исследования.

Закключение. Радонотерапия нашла широкое и успешное практическое применение в комплексном лечении распространенных хронических заболеваний соединительной ткани, неврологических расстройств, заболеваний сердца и сосудов, пищеварительной и дыхательной системы, гинекологических и урологических заболеваний и т.д. Основными радиационными факторами на территории и в помещениях санатория «Радон» являются: объемная активность радона в воздухе, удельная активность радона в воде, МЭД внешнего гамма-излучения санаторно-курортной территории.

Оптимизация радиационно-гигиенической обстановки и снижение дозовых нагрузок персонала и пациентов в радоновом санатории достигается путем регуляции, кратности воздухообмена помещений радонолечебницы, а также проведением постоянного мониторинга, учетом доз облучения персонала и пациентов от воздействия комплекса радиационных факторов.

Радонотерапия имеет, как и различные медицинские процедуры, ряд противопоказаний, которые должны учитываться при назначении лечения. Лечебные дозировки радоновых процедур должны располагаться в диапазоне между минимально действующей и максимально допустимой. Это необходимо для эффективного лечения и в то же время для обеспечения радиационной безопасности больных. Согласно принципу обоснования, любое решение, связанное с облучением, должно быть обосновано, то есть приносить больше пользы, чем вреда.

Общие принципы обеспечения радиационной безопасности при проведении процедур радонотерапии изложены в нормативных документах. При работе с источниками ионизирующего излучения должны проводиться дозиметрический и радиометрический контроль, соблюдаться требования безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чудаков, В.А. Радон: учеб. пособие / В.А. Чудаков, Д.И. Лобач. – 2-е изд. – Минск: Юрайт, 2006. – 246 с.
2. Радиохимия: учеб. пособие в 7 т. / И.Н. Бекман. – 2-е изд. – Минск: Издательство Юрайт, 2015. – Т.6. – 400 с.
3. Рихванов, Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде проблемы радиоэкологии: учеб. пособие / Л.П. Рихванов. – Томск, 2009. – 430 с.
4. Гусаров И.И. Радонотерапия / И.И. Гусаров. – 2-е изд. – М.: Медицина, 2000. – 200 с.

РАДИАЦИОННАЯ СИТУАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНЫХ СКЛОНОВ ТУРКЕСТАНСКОГО ХРЕБТА RADIATION SITUATION ON THE TERRITORY OF THE NORTHERN SLOPES OF THE TURKESTAN RIDGE

У. Мурсаидов, Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, Е. Ю. Малышева
U. Mirsaidov, Kh. M. Nazarov, B. D. Boboev, E. Yu. Malysheva

*Агентство по химической, биологической, радиационной
и ядерной безопасности НАН Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан,
holmurod18@mail.ru*

*Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency
of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan,
holmurod18@mail.ru*

Приводятся результаты радиационного мониторинга на территории северных склонов Туркестанского хребта. Показано, что значения суммарной удельной активности почвы, составляет меньше 1 Бк/г. Удельная активность почвы, отобранной на участках улицы Оби Зулло равна – 0,82 Бк/г, а водосточной канавы села Фирдавси Шахристанского района – 0,78 Бк/г. Наблюдается аномальная удельная активность в пробах под номерами 3-6. Это связано с активностью актиния-227.

The article presents the results of radiation monitoring on the territory of the northern slopes of the Turkestan ridge. It is shown that the total specific activity is less than 1 Bq/g. The specific activities of the soil taken from the sites of Obi Zulol Street is equal to – 0,82 Bq/g, and of the drainage ditch of the Firdavsi village of Shakhristan district – 0,78 Bq/g. Anomalous specific activity is observed in samples numbered 3-6. This is due to the activities of the actinium-227.

Ключевые слова: радиационный фон, почва, проба, анализ, радионуклид, активность, мощность амбиентной дозы, значение.

Keywords: background radiation, soil, sample, analysis, radionuclide, activity, ambient dose rate, value.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-261-265>

Несмотря на то, что территории северных склонов Туркестанского хребта не имеют промышленных объектов радиационного характера, но расположение населенных пунктов на подветренной стороне к северным ветрам делает их уязвимыми в этом отношении, так как есть вероятность привнесения радионуклидов из других регионов. Радиационный фон постоянно присутствует в естественной среде Земли, которая образуется от естественных и искусственных источников [1].

Целью данной работы является изучение радиационной ситуации территорий северных склонов Туркестанского хребта

Методы отбора проб и исследования. Отбор проб, пробоподготовка осуществлялись по стандартизованным методикам [2].

Радиационный мониторинг проведен разделением исследуемого участка на несколько частей с использованием комплекта PackEye FHT1377 («Thermo Scientific», Германия) [3], ДКС-АТ1123 («Атомтех», Беларусь).

Измерения удельной активности проб почв проводились на гамма-спектрометре («Canberra Industries, Inc.», США) с детектором из высокочистого германия с программным обеспечением «Genie-2000».

Результаты спектрометрического анализа приводятся в табл.1, из которой видно, что суммарная активность пробы почв, отобранных из данных участков варьируется от 0,82 Бк/г (820 Бк/кг) до 6,68 Бк/г (6680 Бк/кг). Активность изотопа калия ^{40}K в пробах, отобранных из данных участков варьируется от 0,521 Бк/г (521 Бк/кг) до 0,765 Бк/г (765 Бк/кг), что не сильно меняется от координат места отбора проб.

Сравнения вклада радионуклидов в суммарную активность отобранных проб почв на улице Оби Зуллол Шахристанского района показало, что активность радионуклида ^{40}K составляет около 70% от общей активности в образце почвы. Суммарная активность пробы от измеренных радионуклидов 0,824 Бк/г (824 Бк/кг). Активность ^{40}K составляет 0,569 Бк/г (569 Бк/кг). Активность ^{226}Ra составляет 0,074 Бк/г (74 Бк/кг). Это, связано с использованием минеральных удобрений со стороны землепользователей.

Таблица 1 – Результаты спектрометрического анализа отобранных проб (удельная активность радионуклидов, Бк/г)

Радионуклиды	Улица Оби Зуллол, Шахристан	Село Фирдавси, Шахристан	Село Навкент, Шахристан	Село Октаги, Шахристан	Село Сурхи, Истаравшан	Село Лакат, Истаравшан
^{40}K	5,69E-01	5,35E-01	5,60E-01	7,65E-01	5,21E-01	5,24E-01
^{137}Cs	не обн.	8,26E-04	5,22E-03	3,63E-03	2,98E-03	1,64E-03
^{210}Pb	не обн.	1,62E-02	3,24E-02	3,43E-02	2,86E-02	2,92E-02
^{211}Bi	не обн.	не обн.	1,96E-02	не обн.	не обн.	не обн.
^{212}Bi	2,26E-02	2,25E-02	2,50E-02	2,76E-02	2,22E-02	2,17E-02
^{212}Pb	3,07E-02	2,80E-02	3,43E-02	3,84E-02	3,17E-02	3,13E-02
^{214}Bi	3,29E-02	2,86E-02	3,19E-02	3,68E-02	3,40E-02	3,22E-02
^{214}Pb	3,10E-02	2,83E-02	2,89E-02	3,41E-02	3,12E-02	2,99E-02
^{226}Ra	7,37E-02	6,48E-02	4,49E-02	4,86E-02	не обн.	не обн.
^{227}Ac	не обн.	не обн.	3,74E+00	5,52E+00	2,83E+00	3,41E+00
^{228}Ac	3,74E-02	3,50E-02	3,62E-02	4,34E-02	3,62E-02	3,49E-02
^{228}Th	не обн.	не обн.	8,89E-02	9,61E-02	не обн.	9,38E-02
$^{234}\text{Pa-M}$	не обн.	не обн.	1,38E-02	не обн.	1,75E-02	не обн.
^{235}U	не обн.	не обн.	1,37E-03	2,09E-03	4,68E-03	4,23E-03
$^{238}\text{U+dau}$	2,65E-02	2,31E-02	2,12E-02	3,06E-02	2,40E-02	2,11E-02
Суммарная удельная активность, Бк/г	0,82	0,78	4,69	6,68	3,59	4,24

Активность ^{40}K в почве, отобранной из водосточной канавы на территории села Фирдавси Шахристанского района составляет около 68 %. Суммарная активность почв от измеренных радионуклидов 0,783 Бк/г (783 Бк/кг). Удельная активность изотопа ^{40}K составляет 0,535 Бк/г (535 Бк/кг), а значение удельной активности изотопа ^{226}Ra равно 0,065 Бк/г (65 Бк/кг). Это, видимо, связано со стоком поливных вод в водосточную канаву.

Удельная активность радионуклида ^{40}K в почве, отобранной на территории села Навкент Шахристанского района составляет около 10 % от общей активности в образце почвы. Суммарная активность пробы от измеренных радионуклидов 4,69 Бк/г (4690 Бк/кг). Активность ^{40}K составляет 0,56 Бк/г (560 Бк/кг). Активность ^{226}Ra составляет 0,045 Бк/г (45 Бк/кг). Это также связано с землепользованием. Активность радионуклида ^{227}Ac составляет около 80 % от общей активности в образце почвы. Из-за низкого содержания материнского вещества – ^{235}U , удельная активность ^{235}U составляет 0,001 Бк/г (1 Бк/кг). По аномальному содержанию ^{227}Ac можно сделать вывод, что актиний-227 накапливается по причине миграционной способности данного радионуклида или материнского радионуклида ^{235}U в участке отобранной пробы почвы.

Анализ суммарной удельной активности радионуклидов в почве, отобранной на территории села Сурхи г. Истаравшан показал, что удельная активность радионуклида ^{40}K составляет около 14,5 % от общей активности в образце почвы. Суммарная активность пробы от измеренных радионуклидов 3,586 Бк/г (3586 Бк/кг). Активность ^{40}K составляет 0,521 Бк/г (521 Бк/кг). Также на графике (рис.1) видно, активность радионуклида ^{227}Ac составляет около 79 % от общей активности в образце почвы и равна 2,83 Бк/г (283 Бк/кг).

Произведен анализ суммарной удельной активности радионуклидов в почве, отобранной на территории села Лакат г. Истаравшан и выявлено, что удельная активность радионуклида ^{40}K составляет около 12,4 % от общей активности в образце почвы. Суммарная активность пробы от измеренных радионуклидов 4,235 Бк/г (4235 Бк/кг). Активность ^{40}K составляет 0,524 Бк/г (524 Бк/кг). Активность радионуклида ^{227}Ac составляет около 80 % от общей активности в образце почвы и равна 3,41 Бк/г (3410 Бк/кг).

Сравнительный анализ удельных активностей почвы, отобранных из разных участков (рис.1) свидетельствует о том, что удельная активность в пробах, отобранных из участков улицы Оби Зулол, водосточной канавы села Фирдавси Шахристанского района имеет значения меньше 1 Бк/кг (0,82 Бк/кг и 0,78 Бк/кг, соответственно). Аномальная активность наблюдается в пробах, под номерами 3, 4, 5, 6 за счет активностей изотопа ^{227}Ac . Содержание изотопа ^{227}Ac в пробах, под номерами 3, 4, 5, 6 составляет 3,74 Бк/г, 5,52 Бк/г, 2,83 Бк/г, 3,41 Бк/г, соответственно.

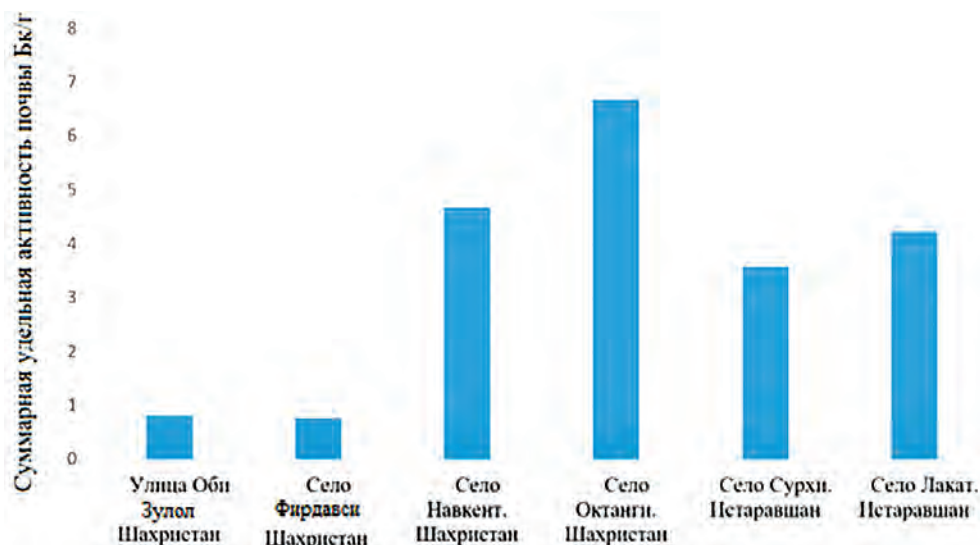


Рисунок 1 – Удельные активности образцов почвы, отобранных из разных участков

Актиний-227 встречается во всех урановых рудах, однако его количества невелики из-за низкого содержания материнского вещества – ^{235}U . При радиоактивном равновесии на 1 г. урана приходится 2Е-10 г. ^{227}Ac [4].

В порядке изучения радиологической ситуации северной части Туркестанского хребта проведен мониторинг общего радиационного фона населенных пунктов Шахристанского, Истаравшанского и Зафарабадского районов. Результаты замеров приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Среднее значение мощности амбиентной дозы (МАД) в населенных пунктах Шахристанского р-на

№ п/п	Населенный пункт	МАД, мкЗв/час	№ п/п	Населенный пункт	МАД, мкЗв/час
1	п. Шахристан, центр	0,14	9	Село Фирдавси	0,21
2	Село Новкент	0,16	10	Село Бустон	0,21
3	Село Ободи	0,15	11	Село Темурмалик	0,19
4	Село Сароби	0,16	12	Село Хисор	0,20
5	Село Сугдиён	0,16	13	Село Вахдат	0,15
6	Село Гулистон	0,15	14	Село Чашма	0,16
7	Село Себзор	0,14	15	Село Истиклол	0,20
8	Село Турсунзода	0,17	16	Село Чашмасор	0,18
Среднее арифметическое значение:					0,21

Из табл. 2 видно, что МАД обследованных территорий составляет 0,14–0,21 мкЗв/час. В населённых пунктах, расположенных в южной части Шахристанского района, например, в селе Фирдавси общий радиационный фон на 50 % выше, чем в её северной части, например, селе Себзор.

Эта разница на наш взгляд связана с тем, что во-первых, южная часть Шахристана непосредственно при-мыкает к гранитоидной массе Туркестанского хребта, имеющей в своем составе тяжелые радионуклиды, которые выходят на дневную поверхность и дают вклад в общий фон; во-вторых, Шахристан находится на наветренной

стороне дующих со степных частей Центрально-Азиатского массива ветров, то есть на пути «Розы ветров», приносящей с собой из техногенных мест других краев, даже стран дополнительный фон по радионуклидам. Кроме того, имеются ещё космические лучи, увеличивающие эту динамику. Все это в результате приводит к повышению МАД на 40–60 %. Возможно, есть ещё и другие причины.

Для мониторинга объемной активности (ОА) радона были выбраны жилые дома некоторых населённых пунктов Шахристанского района. Результаты обобщены в табл.3.

На основе полученных данных, можно сказать, что среднестатистические количества радона равны 92,8 Бк/м³ и соответствуют НРБ Республики Таджикистан, для категории старых зданий «Населения» [5].

Результаты проведенного радиационного мониторинга Зафарабадского района показали, что в южной части данного района радиационный фон выше, чем среднеарифметические величины этого фона по району Зафарабад.

Таблица 3 – Результаты мониторинга объемной активности (ОА) радона в воздухе жилых домов населённых пунктов Шахристанского района

Места измерений	Координаты N / E	МАД, мкЗв/ч	ОА радона, Бк/м ³
Село Гулистан	39°49'34,84» / 68°47'6,86»	0,21	183
Поселок Шахристан	39°46'29,26» / 68°48'54,7»	0,10	24
Село Сароби	39°48'28,27» / 68°49'57,39»	0,25	104
Село Истиклол	39°43'12,74» / 68°52'52,35»	0,08	70
Село Ободи	39°50'4,11» / 69°49'50,37»	0,20	154
Село Сугдиён	39°49'41,69» / 68°48'56,15»	0,07	75
Село Турсунзаде	39°45'2,75» / 68°46'51,17»	0,07	40

На исследованных открытых естественных территориях общий радиационный фон на 20–30 % выше, чем на покрытых территориях. На наш взгляд, уменьшения радиационного фона на покрытых асфальтом или бетонированных площадях объясняется тем, что эти покрытия задерживают и уменьшают выход радиационного излучения на поверхность. Что касается превышения радиационного фона акватории верхнего канала п. Зафарабада по отношению к низинной его части по рельефу, видимо, это связано с тем, что за геологические периоды из северных склонов Туркестанского хребта происходили миграции радионуклидов. Кроме того, нам кажется, что вероятно происходили миграции «следов» техногенных процессов с северных, наветренных склонов Туркестанских гор, привнесенные из других регионов. С другой стороны, в пределах двух или максимум трех стандартных ошибок измерений усредненные данные радиационного фона южных и северных частей п. Зафарабада совпадают. Возможны и другие толкования этой небольшой разницы.

Что касается южной части Истаравшанского района в сторону северных склонов Туркестанского хребта, общий радиационный фон здесь доходит до 0,23 мкЗв/ч, а среднестатистическая величина этого «эффекта» составила 0,20 мкЗв/ч.

В г. Истаравшане среднеарифметическая величина радиационного фона равна 0,17 мкЗв/ч, и в пределах ошибок измерений не наблюдается заметного отклонения на данной территории. В северной и северо-западной части Истаравшанского района, вниз по рельефу общий радиационный фон достигает 0,16–0,17 мкЗв/ч. На основании наших измерений территорию Истаравшанского района условно поделили на три части. Первая часть – к югу от г. Истаравшана, где общий радиационный фон равен 0,20–0,21 мкЗв/ч, вторая часть – г. Истаравшан и горизонтальные параллели от него с фоном 0,17–0,18 мкЗв/ч. Третья часть – к северу от города, где радиационный фон равен 0,16–0,17 мкЗв/ч.

По результатам мониторинговых работ можно сделать заключение, что к северу от г.Истаравшана МАД составляет 0,16–0,17 мкЗв/ч. В самом городе 0,17–0,18 мкЗв/ч, а на юге эта величина достигает 0,20–0,21 мкЗв/ч, хотя разница радиационного фона между северной и южной окрестностями г. Истаравшан равна 0,04 мкЗв/ч.

Заключение. Если проследить за результатами измерений, то можно обнаружить, что во всех измеренных точках к северу от г. Истаравшана МАД одинаково низка, по сравнению с величинами к югу от г. Истаравшана.

По мере удаления от г. Истаравшана на юг в сторону Туркестанских гор, имеющиеся твёрдые почвы с гранитными включениями, выходящими на дневную поверхность, могут давать дополнительный «эффект» к среднеарифметическому МАД всего Истаравшанского района.

Сравнивая полученные данные общего радиационного фона с санитарно-допустимой дозой для всего населения, можно сделать заключение, что МАД г. Истаравшана и его окрестностей находится в пределах санитарной нормы и не представляет опасности для населения и биосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобоев, Б. Д. Радиационный мониторинг северных склонов Туркестанского хребта / Б. Д. Бобоев, Х. М. Назаров, Х. Муртазаев // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Из недр Земли до горных вершин». – Чкаловск : ГМИТ, 2007. – С. 153-154.
2. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почва. Общие требования к отбору проб. - 2019. – 5 с.

3. Официальный сайт Thermo Fisher Scientific. PackEye Radiation Detection Backpack. URL: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/FHT1377>
4. Каралова, З. К. Актиний (Аналитическая химия элементов) / З. К. Каралова, Б. Ф. Мясоедов. – М. : Наука, 1982. – 144 с.
5. Закон Республики Таджикистан «О радиационной безопасности». – Душанбе : Дониш, 2004. – С. 98–121.

**РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ**
**RADIATION-HYGIENIC MAINTENANCE
OF THE SAFETY OF THE BELARUSIAN NPP FOR THE POPULATION**

В. В. Кляус, Е. В. Николаенко
V. V. Kliaus, A. U. Nikalayenka

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
г. Минск, Республика Беларусь
vkliaus@gmail.com*

Republican unitary enterprise «Scientific-practical centre of hygiene», Minsk, Republic of Belarus

В связи с реализацией в Республике Беларусь первой ядерно-энергетической программы и пуском в эксплуатацию Белорусской АЭС в соответствии с международными требованиями и рекомендациями возникла необходимость разработки и усовершенствования нормативно-правовой базы в области обеспечения радиационной безопасности и оценки воздействия атомной станции на здоровье населения. В настоящей статье приведены результаты радиационно-гигиенического мониторинга, проведенного в 2017–2020 гг., до пуска Белорусской АЭС в эксплуатацию. В статье также приведены результаты оценки доз облучения населения Республики Беларусь от выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду Белорусской АЭС, как при ее работе в штатном режиме, так и при возможных радиационных авариях. Результаты оценки показали, что дозы облучения населения при штатном режиме работы Белорусской АЭС более чем в два раза ниже установленного норматива граничной дозы, даны рекомендации по проведению защитных мероприятий для населения при возможных авариях.

In connection with the implementation of the first nuclear power program in the Republic of Belarus and the commissioning of the Belarusian NPP, it became necessary to develop and improve the legal framework in the field of ensuring radiation safety in accordance with international requirements and recommendations and assess the impact of a nuclear power plant on public health. This article presents the results of radiation-hygienic monitoring carried out in 2017–2020 before the commissioning of the Belarusian NPP. The article also presents the results of dose assessment for the population of the Republic of Belarus from gaseous releases and liquid discharges of radioactive substances into the environment from the Belarusian NPP, both during its normal operation and during possible radiation accidents. The results of the assessment showed that the exposure doses to the public during the normal operation of the Belarusian NPP are more than two times lower than the regulatory established value of dose constraint, recommendations were given for taking protective measures for the public in case of potential accidents.

Ключевые слова: Белорусская АЭС, радиационно-гигиенический мониторинг, доза облучения, население, нормальная эксплуатация, радиационная авария.

Keywords: Belarusian NPP, radiation-hygienic monitoring, exposure dose, population, normal operation, radiation emergency.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-265-268>

Республика Беларусь в настоящее время реализует свою первую ядерную энергетическую программу. В 2021 г. введен в промышленную эксплуатацию первый энергоблок Белорусской АЭС и осуществлен физический пуск второго энергоблока.

В соответствии с обязательствами Республики Беларусь в рамках ратифицированных международных соглашений, согласно рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ), а также требованиями национальных нормативных документов в случае эксплуатации АЭС оценка радиационного риска для населения является обязательной. Мерилом радиационного риска являются величины доз облучения населения. В процессе эксплуатации АЭС для контроля облучения населения и определения необходимости введения ограничительных или защитных мер обычно используют величины доз облучения, расчет которых базируется на

данных о выбросах и сбросах, т.к. сами концентрации радионуклидов в выбросе при нормальной эксплуатации АЭС слишком малы чтобы быть измеренными непосредственно, особенно на значительных расстояниях от АЭС, и не могут выступать в качестве репрезентативных величин для оценки риска.

Оценка доз облучения репрезентативного лица в результате запланированных выбросов и сбросов, является также одним из этапов подготовки получения АЭС лицензии на проведение выбросов и сбросов.

Разработка нормативно-правовых документов. Для обеспечения радиационной безопасности населения, в том числе от действующей Белорусской АЭС специалистами Министерства здравоохранения Республики Беларусь с 2010 г. разработан и утвержден ряд нормативно-правовых документов, среди которых:

- Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213;
- Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213 [1];
- Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.03.2010 № 39 (далее – СП АЭС-2010) [2];
- Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137;
- Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при обращении с радиоактивными отходами», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2015 № 142.

Нормативные требования, закрепленные в вышеперечисленных нормативных документах, соответствуют современным рекомендациям МАГАТЭ.

Результаты радиационно-гигиенического мониторинга до пуска Белорусской АЭС в эксплуатацию. Радиационно-гигиенический мониторинг (далее – РГМ) – это сбор, анализ и оценка информации о состоянии здоровья персонала и населения в зависимости от радиационной и санитарно-эпидемиологической обстановки среды обитания человека, оценка доз и риска облучения для жизни и здоровья персонала и населения, разработка мероприятий, направленных на предупреждение, уменьшение и устранение неблагоприятного воздействия облучения на организм человека [3]. В соответствии с законодательством в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения РГМ проводится Министерством здравоохранения Республики Беларусь в рамках проведения социально-гигиенического мониторинга.

На стадии строительства Белорусской АЭС РГМ выполнялся для оценки «фоновых» уровней радиоактивного загрязнения питьевой воды, продуктов питания, а также медико-демографических данных на территории зоны наблюдения (далее – ЗН) в радиусе 12,9 км от площадки в 15 реперных населенных пунктах.

Основными контролируемыми параметрами являлись: удельная и объемная активность радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr) в продуктах питания и питьевой воде и объемная суммарная альфа- и бета-активность в питьевой воде. Измерения проводились аккредитованными лабораториями государственного предприятия «НПЦГ», Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», Республиканского унитарного предприятия «Белорусский государственный институт метрологии» и Государственного научного учреждения «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси».

За период наблюдений 2017–2020 гг. проанализировано 285 проб питьевой воды: 115 проб из централизованных источников водоснабжения (далее – артскважин) и 170 проб из шахтных колодцев (далее – колодцев). Удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах воды из артскважин не превышала значений МДА метода, за исключением нескольких НП (д. Рытань, д. Бобровники, д. Чехи, д. Подольцы), где содержание ^{90}Sr в пробах питьевой воды составило от $0,004 \pm 0,001$ до $0,009 \pm 0,002$ Бк/л. Значения объемной суммарной альфа-активности в артскважинах варьировали от $0,013 \pm 0,003$ Бк/л (д. Чехи и д. Трокеники) до $0,42 \pm 0,063$ Бк/л (д. Герваты). Значения объемной суммарной бета-активности во всех пробах воды из артскважин не превышали МДА метода, и только в 1 пробе воды, отобранной из артскважины д. Бобровники значение объемной суммарной бета-активности составило $0,38 \pm 0,057$ Бк/л. В пробах воды из колодцев значения объемной суммарной альфа-активности варьировали от 0,01 Бк/л до $0,730 \pm 0,12$ Бк/л, в некоторых пробах были установлены превышения норматива объемной суммарной бета-активности (1 Бк/л) [1], максимальное зарегистрированное значение составило $3,65 \pm 0,44$ Бк/л.

По результатам проведения РГМ установлены «фоновые» уровни радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr пищевых продуктах в ЗН Белорусской АЭС:

- удельная активность ^{90}Sr в молоке – от 0,05 до 1 Бк/л, в мясе – от 0,09 до 0,42 Бк/кг, в картофеле – от 0,08 до 0,46 Бк/кг, в остальных пробах плодоовощной продукции от 0,04 Бк/кг (помидоры, яблоки) до 0,94 Бк/кг (лук);
- удельная активность ^{137}Cs в молоке – от 0,7 до 5,3 Бк/л, в мясе – менее 0,9 Бк/кг, в картофеле – от 0,9 до 1,6 Бк/кг, в плодоовощной продукции – от 0,9 Бк/кг (лук, огурцы, томаты) до 1 Бк/кг (капуста, яблоки, лук).

В целом, до пуска Белорусской АЭС в эксплуатацию уровни удельной и объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах пищевых продуктов и питьевой воды в ЗН не превышали нормативов, установленных РДУ–99 [4], а уровни содержания природных радионуклидов в питьевой воде – не превышали референтных уровней содержания радионуклидов в питьевой воде, установленных в [1].

Расчетные значения доз внутреннего облучения населения, проживающего в ЗН, до пуска Белорусской АЭС от потребления продуктов питания с данными уровнями содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr составили порядка 30 мкЗв/год.

Оценка радиационного воздействия Белорусской АЭС на здоровье населения. За период с 2010 г. и по настоящее время проводилась оценка радиационного воздействия Белорусской АЭС на население Республики Беларусь и сопредельных и других государств, как при нормальной эксплуатации станции, так и при возможных авариях различной степени тяжести. Данная оценка выполнялась в рамках проведения процедуры ОВОС, оценки необходимых размеров санитарно-защитной зоны (далее – СЗЗ) вокруг площадки размещения станции, расчета предельно допустимых значений выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду, установления размеров зон аварийного планирования и разработки мероприятий по защите населения при возможных радиационных авариях.

Оценка прогнозируемых годовых эффективных доз (далее – ГЭД) облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС выполнялась на основе проектных данных об ожидаемых выбросах и сбросах радионуклидов в окружающую среду, а также на данных о фактических выбросах и сбросах радионуклидов станций-аналогов с реакторами типа ВВЭР-1200.

Моделирование атмосферного переноса радионуклидов и расчет доз облучения населения от выбросов радиоактивных газов и аэрозолей выполнялось с помощью лицензионного программного пакета PC CREAM-08 [5]. Расчет ГЭД от выбросов радионуклидов в атмосферу также выполнялся с использованием Руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по содержанию документов, обосновывающих нормативы ПДВ радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты» (РБ-085-13), утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 19.08.2013 № 362 и Методики разработки и установления нормативов ПДВ радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух МТ 1.2.1.15.1176-2016, введенной в действие приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 29.12.2016 № 9/1786-П.

Моделирование рассеяния радионуклидов в атмосфере проведено на основании результатов анализа реальных метеорологических условий в районе расположения Белорусской АЭС (метеостанция Лынтупы) за 20-летний период по данным Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. Моделирование разбавления примеси в р. Вилия проводилось с использованием фактических гидрологических и морфометрических характеристик р. Вилия.

Для оценки ГЭД использовалась концепция репрезентативного лица, которое определено на основании данных об образе жизни, особенностях ведения личного подсобного хозяйства, потребления продуктов питания среди взрослого населения Островецкого района. Уровни потребления питьевой воды, интенсивность ингаляции, а также дозовые коэффициенты для различных возрастных групп использованы в соответствии с [1].

Результаты оценки ГЭД облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС показали, что максимальное значение ГЭД от выбросов радионуклидов на расстоянии 2 км от площадки будет равно 0,2 мкЗв/год, от сбросов радионуклидов в р. Вилия – порядка 20 мкЗв/год, что суммарно более чем в 2 раза ниже установленной граничной дозы облучения – 50 мкЗв/год [2]. К радиационно-значимым радионуклидам, участвующим в формировании ГЭД от выбросов, относятся: ^{14}C (84,8 %), ^3H (2,8 %), ^{135}Xe (1,5 %), ^{131}I (0,7 %), ^{137}Cs (0,4 %), ^{134}Cs (0,3 %). Основными дозообразующими радионуклидами, которые вносят вклад более 99 % в ГЭД от сбросов в р. Вилия, будут являться: ^{137}Cs (42 %), ^{134}Cs (39,7 %), ^3H (17,8 %), ^{60}Co (0,1 %), ^{131}I (0,2 %). Основными путями облучения населения от выбросов и сбросов Белорусской АЭС будут внутреннее облучение от перорального поступления и от ингаляции радионуклидов, суммарный вклад в ГЭД которых составит до 90 %.

Результаты оценки ГЭД облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС использованы при разработке расчетного обоснования размеров СЗЗ Белорусской АЭС, а также при разработке расчетного обоснования нормативов предельно допустимых и допустимых газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов Белорусской АЭС.

Оценка последствий проектных и запроектных аварий на Белорусской АЭС проводилась с использованием лицензионных программных кодов InterRas [6] и JRODOS [7]. Аварийные сценарии для реактора типа ВВЭР-1200 определялись на основании рекомендаций МАГАТЭ (IAEA EPR-Public Protective Actions, 2013), проектной документации Белорусской АЭС и по данным станций-аналогов с реакторами типа ВВЭР-1000.

Результаты проведенной оценки прогнозируемых доз облучения населения при максимально проектных авариях на Белорусской АЭС с выбросом радионуклидов порядка 10^{14} Бк показали, что максимальное значение ожидаемой общей эффективной дозы за пределами площадки составит 0,07 мЗв, а дозы облучения щитовидной железы – порядка 1 мЗв. Мероприятий по защите населения в данном случае не потребуются. При наиболее тяжелой с точки зрения радиологических последствий для населения запроектной аварии с выбросом радионуклидов в окружающую среду порядка 10^{16} Бк максимальное значение ожидаемой общей эффективной дозы облучения населения за пределами площадки (на расстоянии 3–5 км) может составить 1,7–2,7 мЗв. Максимальное значение дозы облучения щитовидной железы составит до 94 мГр у детей и до 43 мГр у взрослых, что превышает установленные в [1] критерии аварийного реагирования и в соответствии с Внешним аварийным планом Белорусской АЭС [8] потребует таких мероприятий по защите населения как блокирование щитовидной железы, запрет на потребление местных пищевых продуктов, проведение аварийного радиационного мониторинга.

Усилия Республики Беларусь, направленные на соблюдение международных требований и рекомендаций МАГАТЭ в области обеспечения радиационной безопасности Белорусской АЭС для населения, отмечены

экспертами МАГАТЭ в ходе проведенных в республике экспертных миссий: INIR (2020), IRRS (2016, 2021), EPREV (2018).

ЛИТЕРАТУРА

1. Критерии оценки радиационного воздействия : гигиен. нормативы : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена. – Вып. 2. – Минск, 2013. – С. 34–167.
2. Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций: Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы: утв. постановлением Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 31.03.2010 г., № 39. – Минск: ГУ «РЦГЭ и ОЗ», 2010. – 116 с.
3. О радиационной безопасности: Закон Респ. Беларусь, 18 июня 2019 г. № 198-З. Доступно: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900198_1561496400.pdf (дата обращения: 20.11.2020).
4. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде: гигиен. норматив 10-117-99, утв. постановлением Главного гос. сан. врача Респ. Беларусь от 26.04.1999 № 16.
5. PC-CREAM 08 User Guide. RPD-EA-9-2009 / J. Smith [et al.]; Health Protection Agency. – Didcot, HPA, 2009. – 89 p.
6. INTERRAS 1.2 : учеб. пособие / Междунар. агентство по атомной энергии / Вена : МАГАТЭ, 2000. – 105 с.
7. JRodos User Guide [Electronic resource] / I. Ievdin [et al.]. – Режим доступа: https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/documents/JRodas_UserGuide.pdf. – Дата доступа: 03.06.2020.
8. План защитных мероприятий при радиационной аварии на белорусской атомной электростанции (внешний аварийный план) [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 22 марта 2018 г. № 211. – Режим доступа: <https://energodoc.by/document/view?id=3245>. – Дата доступа: 01.06.2020.

ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОТОКОЛА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПЭТ ИЗОБРАЖЕНИЯ FREQUENTLY USED PARAMETERS OF THE DIAGNOSTIC PROTOCOL ON THE QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF THE DIAGNOSTIC PET IMAGE

Е. В. Емельяненко^{1,2}, К. В. Поддубный³
E. V. Emialyanenko, K. V. Paddubny

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

³РНПЦ им. Н.Н. Александрова, аг. Лесной, Республика Беларусь
zheka-ava@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

³N. N. Alexandrov national cancer centre of Belarus, Lesnoy, Republic of Belarus

Выполнен анализ влияния длительности сканирования и реконструкционных алгоритмов на качество диагностического ПЭТ изображения, определены тенденции зависимости шума и соотношения сигнал/шум от длительности сканирования.

The analysis of the influence of the scan duration and reconstruction algorithms on the quality of the diagnostic PET image was performed, the trends in the dependence of noise and signal-to-noise ratio on the scan duration were determined.

Ключевые слова: диагностический протокол, длительность сканирования, реконструкционные параметры, шум, качество изображения.

Keywords: diagnostic protocol, strength, recovery parameters, noise, image quality.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-268-271>

Введение. Позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной рентгеновской томографией (ПЭТ/КТ) используются для первичной диагностики злокачественных новообразований, стадирования,

диагностики рецидивов и оценки ответа на лечение, также растет роль использования данного метода в области планирования лучевой терапии. Основная причины широкого использования этого метода в первую очередь заключается в его способности точно определять количество радиофармацевтического препарата в тканях, а также возможность сочетать функциональную информацию с анатомической. Однако существует множество факторов, влияющих на точность количественной оценки ПЭТ-сканов [1,2]. Эти факторы можно разделить на три основные категории:

- 1) эффекты, зависящие от программно-аппаратного комплекса
- 2) эффекты, зависящие от соблюдения пациентом алгоритма подготовки к исследованию;
- 3) эффекты, зависящие от соблюдения правил технологического процесса (проведение повторного исследования с идентичными параметрами, точность дозирования РФП и т.д.)

Все эти факторы следует учитывать при проведении диагностических исследований, и особенно важно при оценке динамики развития патологических процессов. Особое место занимают факторы, зависящие от программно-аппаратного комплекса, а именно возможности детектирующей системы, параметры диагностического протокола (реконструкционные алгоритмы с входными параметрами, фильтры, размерность матрицы, длительность сканирования) [3].

Цель этой работы – оценка влияния длительности сканирования на качественные и количественные характеристики диагностического изображения.

Материалы и методы. Рассмотрено влияние длительности сканирования (с учетом некоторых реконструкционных параметров) на качественные и количественные характеристики диагностических ПЭТ изображений. Информированное согласие было получено от всех пациентов, включенных в исследование. Критериями включения были: множественное нодальное поражение при лимфоме. Всем пациентам было выполнено введение [¹⁸F]-ФДГ. Использовались протоколы всего тела (от макушки до пальцев ног) или стандартный (от орбит до верхней трети бедра). Сканирование выполнялось на ПЭТ/КТ томографе Discovery IQ. Активность радиофармпрепарата составляла в среднем 3,5 МБк на 1 кг массы тела.

Параметры КТ-сканирования: напряжение на трубке 120 кВ; сила тока 230 мА; коллимация 2,5 мм × 8, матрица 256×256.

При оценке изображений формирование области интереса корректировалось до полного контурирования очага и отсутствия соприкосновения внешних и внутренних рамок объемов контуров.

Длительность сканирования изменяли путем восстановления изображений на основе серии «List mode» (позволяющей выполнять реконструкции на основе серии сырых данных, путем моделирования различных промежутков длительности сканирования), таким образом получены серии изображений восстановленных на основе данных собранных в течении 3,5, 3, 2,5, 2, 1,5 и 1 минуты. Каждая серия (с указанной длительностью) была реконструирована со следующими характеристиками диагностического ПЭТ протокола:

- неизменяемые: гауссов фильтр 6,4 мм, матрица 256×256.
- изменяемые: VPHD+PSF 12/3 (количество подмножеств и итераций соответственно), VPHD+PSF 12/5, QCLEAR (β= 400).

Выполнен расчет шума, SNR и контраста.

$$Noise = \frac{\delta bcg}{bacg}, \quad (1)$$

$$SNR = \frac{signal - bacg}{\delta bcg}, \quad (2)$$

где *signal* – среднее значение объемной активности в интересующей области внутри очага поражения; *bacg* – среднее значение объемной активности в области, за пределами очага поражения (в данном случае фон рассчитан по отношению к печени); *δbcg* – стандартное отклонение значений фона.

В качестве опорного органа для оценки шума использовалась печень. На аксиальной проекции был выделен контур печени и перенесен на ПЭТ изображение. Контур был перенесен на ПЭТ изображения с применением программного обеспечения с целью минимизации ошибок, связанных с нанесением контура «вручную».

Результаты и обсуждения. Исследовано влияние длительности сканирования пациента с учетом входных параметров реконструкционного алгоритма на качественные и количественные характеристики диагностического ПЭТ изображения.

На рисунках 1, 2 изображены боксовые диаграммы отображающие среднее значение шума, SNR, и статистические выбросы. Данные диаграммы получены на основе общей выборки, без учета реконструкционных алгоритмов.

Уменьшение длительности сканирования приводит к увеличению уменьшению значение SNR.

Для определения значимости влияния длительности сканирования на качество изображения выполнен тест Краскера-Уоллиса (непараметрическая статистика). На основании уровня значимости ($p < 0,05$) и ранговых значений, установлено, что влияние длительности сканирования на шум и SNR значимо, а на стандартизированный показатель накопления (SUV_{max} и SUV_{av}) – незначительное.

С сокращением длительности исследования наблюдается увеличение вклада шумовой компоненты (соответствующее логарифмической функциональной зависимости с высоким коэффициентом достоверности аппроксимации) а также уменьшение SNR (соответствующее логарифмической функциональной зависимости). Для детального анализа влияния реконструкционных алгоритмов на шум, SNR, каждый рассматриваемый случай был проанализирован отдельно. На рисунках 3, 4. Зависимость SNR от длительности сканирования определяется логарифмической функциональной зависимостью.

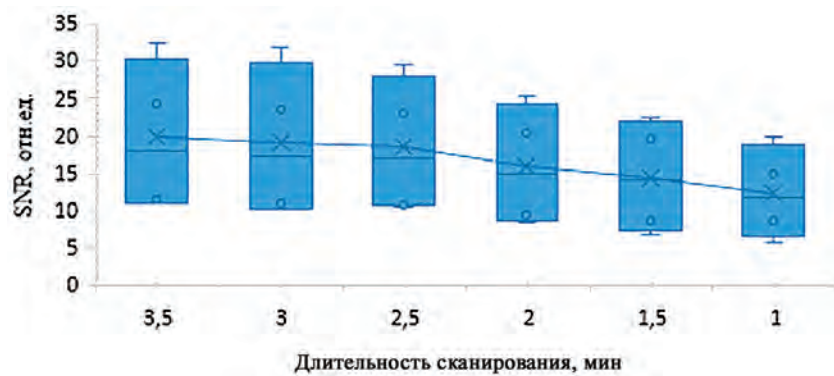


Рисунок 1 – Боксовая диаграмма зависимости SNR от длительности сканирования

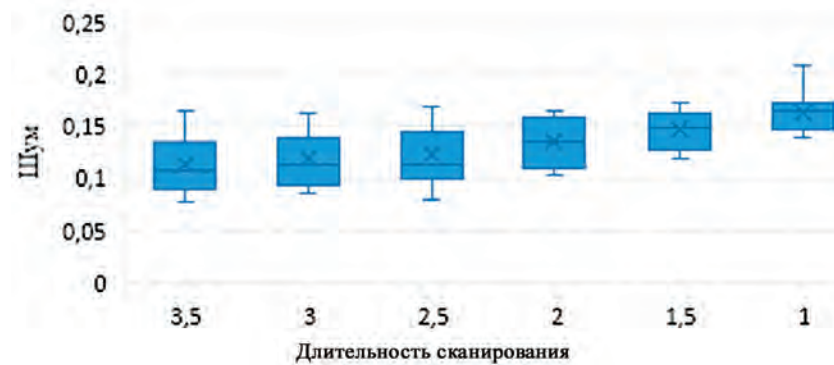


Рисунок 2 – Боксовая диаграмма зависимости шума от длительности сканирования

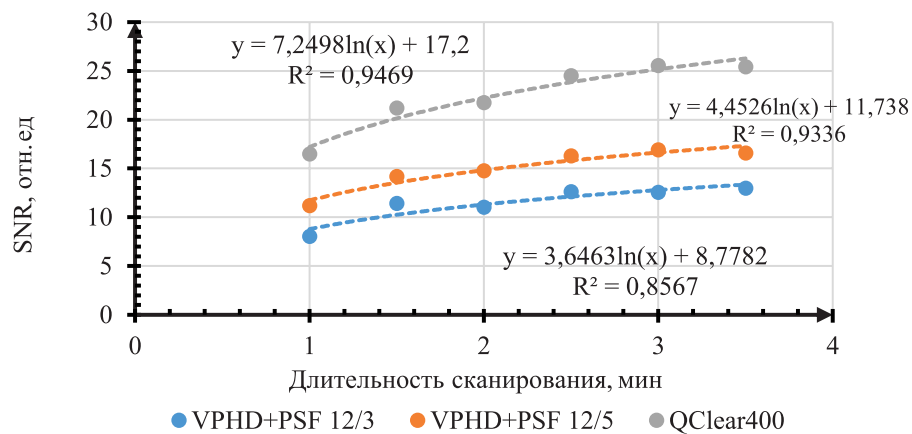


Рисунок 3 – Зависимость SNR от длительности сканирования с учетом реконструкционных алгоритмов

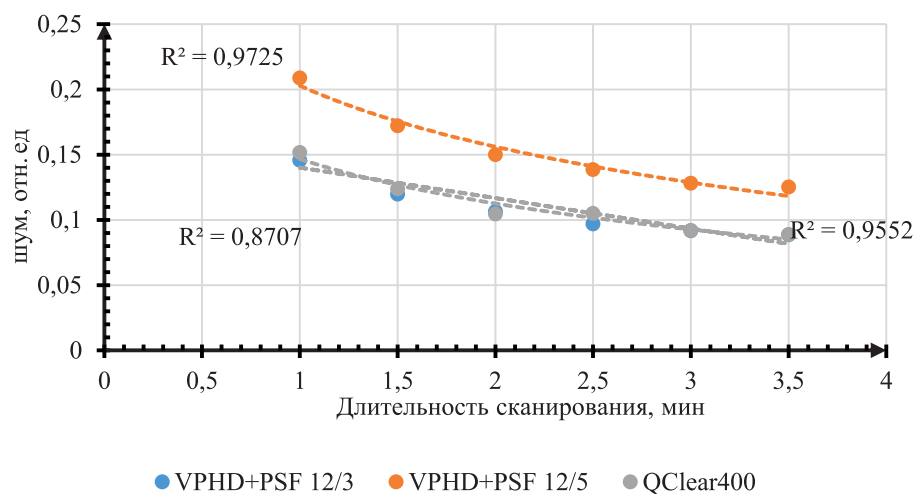


Рисунок 4 – Зависимость шума от длительности сканирования с учетом реконструкционных алгоритмов

Выводы. Оптимальные значения SNR при всех рассматриваемых промежутках длительности исследования были получены при использовании реконструкционного алгоритма QClear.

В каждом из рассматриваемых случаев использование реконструкционного алгоритма QClear позволило увеличить значение SNR на каждом из временных промежутков сканирования. Нецелесообразно увеличивать число итераций (с целью улучшения визуализации) при сокращении длительности исследования.

Сокращение длительности исследования в интервале 3,5-2,5 повлияло на шум и SNR незначительно (исходя из рангового теста Краскера-Уоллиса). Полученные результаты используются при формировании диагностических ПЭТ/КТ протоколов исследований пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Karp, J.S.* Factors Affecting Accuracy and Precision in PET Volume Imaging / J.S. Karp, M.E. Daube-Witherspoon, G. Muehllehner // *J Cereb Blood Flow Metab.* – 1991. – Vol. 11, № 1_suppl. – P. A38–A44.
2. Image quality evaluation in a modern PET system: impact of new reconstructions methods and a radiomics approach / G. Reynés-Llompart [et al.] // *Sci Rep.* – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 10640.
3. Influences on PET Quantification and Interpretation / J.M.M. Rogasch [et al.] // *Diagnostics.* – 2022. – Vol. 12, № 2. – P. 451.

**ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ
ЭКОЛОГИИ, ОТХОДЫ,
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ЖИДКОСТЯМИ И НЕФТЬЮ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS CONTAMINATED WITH MINERALIZED LIQUIDS AND OIL (WESTERN SIBERIA)

М. В. Носова^{1,2}, В. П. Середина²

M. V. Nosova^{1,2}, V. P. Seredina²

¹Акционерное Общество «Томский научно-исследовательский научный проектный институт нефти и газа», г. Томск, Россия, nosovaMV@tomsknpi.ru

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

¹Joint-Stock Company "Tomsk Research Scientific Design Institute of Oil and Gas", Tomsk, Russia, nosovaMV@tomsknpi.ru

²National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Определены особенности распространения процессов техногенного галогенеза на почвах различных каскадно-геохимических позиций ландшафта. Выявлено, что техногенное засоление наиболее губительно для пойменных почв, так как данные почвы являются своего рода главным «пунктом сбора» все загрязнителей. Установлены особенности и химизм процессов техногенного галогенеза (содержание, качественный состав, закономерности миграции и распределения легкорастворимых солей, в том числе токсичных для растений) в почвах различных зон загрязнения – эпицентр, импактная зона, граница нефтяного пятна. Выявлено, что техногенное засоление пойменных почв – конечного звена каскадно-геохимических систем, является значимым геоэкологическим фактором, способствующим образованию на нефтезагрязненных территориях новых техногенных почвенно-геохимических сукцессий – хемоземов с признаками явлений солончаковатости, не свойственных условиям гумидного климата. Предложен способ рекультивации техногенно-засоленных почв путем фитомелиоративного посева аборигенных растений-галофитов.

The features of the distribution of technogenic halogenesis processes on the soil of various cascade-geochemical positions of the landscape are determined. It was revealed that technogenic salinization is the most detrimental for floodplain soils, since these soils are a kind of main "collection point" for all pollutants. The features and chemistry of technogenic halogenesis processes (content, qualitative composition, patterns of migration and distribution of easily soluble salts, including those toxic to plants) in soils of various pollution zones - the epicenter, the impact zone, the boundary of the oil slick - have been established. It has been revealed that technogenic salinization of floodplain soils, the final link in cascade-geochemical systems, is a significant geoecological factor contributing to the formation of new technogenic soil-geochemical successions in oil-contaminated territories - chemozems with signs of solonchak phenomena that are not characteristic of humid climate conditions. A method for the reclamation of technogenically saline soils by phytomeliorative sowing of native halophyte plants is proposed.

Ключевые слова: техногенный галогенез, хемозем техногенный, месторождение нефти, пойменные экосистемы, водорастворимые соли.

Keywords: technogenic halogenesis, technogenic chemozem, oil field, floodplain ecosystems, water-soluble salts.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-275-278>

Постоянно возрастающее антропогенное воздействие приводит к увеличению поступления в экосистемы различных загрязнителей. Среди множества загрязнителей окружающей среды (ОС) необходимо выделить нефть и нефтепродукты (НП), которые являются достаточно опасными, быстро распространяющимися, медленно разлагающимися в естественных условиях и способными оказывать токсическое действие на центральный элемент экосистемы – почвы. При этом морфологические свойства почв являются наиболее представительными признаками загрязнения, так как являются индикатором изменений агрофизических свойств. В этой связи, разработка приёмов, направленных на снижение негативного воздействия нефтяных углеводородов на природные экосистемы, является актуальной задачей. Особую актуальность такие разработки приобретают на почвах, сформированных в условиях гумидного почвообразования Западной Сибири, где процессы самовосстановления почв наиболее сложны и длительны [1–4].

Несмотря на значительное количество работ, посвящённых исследованию воздействия нефтяного загрязнения на экологическое состояние почв таёжных элювиальных ландшафтов Западной Сибири, закономерности поведения нефтепродуктов, а также практические аспекты рекультивационных работ на почвах пойменных экосистем изучены слабо. В связи с этим цель настоящего исследования – анализ особенностей влияния нефтяного загрязнения на морфологические особенности и физико-химические параметры аллювиальных почв.

Объектами исследования послужили почвы на территории разлива сырой нефти на территории Александровского и Кургасовского районов Томской области и Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Очаг загрязнения сформировался в результате порыва промышленного трубопровода в центральной части поймы р. Оби. В каждой зоне различной техногенной нагрузки (эпицентр, импактная зона, граница нефтяного пятна) был заложен разрез и ряд почвенных прикопок, определена классификационная принадлежность почвы в соответствии с фоном. Отбор проб почв производили по ГОСТ 28168-89 с учётом мощности горизонтов в описанных разрезах до глубины 100 см. Отбор проб из прикопок проводился на глубинах 0–10 и 10–20 см. Биоценозы представлены лесными сосновыми, лиственнично-сосновыми и березовыми биоценозами, степными злаковыми, разнотравно-злаковыми и бобово-злаковыми сообществами, а также – луговыми разнотравными ассоциациями речных долин и межплоскогорных понижений. Для полевого исследования почв исследуемых ландшафтов применялись почвенно-морфологический, педо-литологический, ботанический, геолого-геоморфологический и сравнительно-географический методы исследования. На территории было заложено и описано 5 почвенных разрезов и 25 почвенных прикопок. Для выявления закономерностей трансформации загрязнённых почв проводился сопряжённый анализ фоновых почв и почв, загрязнённых нефтяными эмульсиями. Ненарушенной почвы расположены в непосредственной близости от контрольного объекта исследования и представлены различными типами аллювиальных почв. Диагностику и классификацию проводили в соответствии с современными представлениями о классификации антропогенно-преобразованных почв.

Лабораторные исследования свойств основных типов почв были проведены общепринятыми методами потенциометрии, титрования, фотоколориметрии, в пробах воздушно-сухих образцов почв, растёртых и просеянных через сито с диаметром отверстий в 1 мм, а при необходимости – через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. При обработке данных использовали общепринятые статистические методы с использованием программы STATISTICA 6.0.

Самовосстановительные процессы природных экосистем не справляются с мощным одноразовым техногенным всплеском, тем самым замедляется время реабилитации природной среды от такого рода загрязнений в условиях Западной Сибири и Крайнего Севера. Поэтому проблема загрязнений высокоминерализованными водами ландшафтов является одной из наиболее ключевых задач, для решения которой требуется разработка комплексного и систематизированного подхода, внедрения новых технологических решений и научной обоснованности. При продвижении от эпицентра разлива к периферии видно, что в почва загрязнённых минерализованными жидкостями снижается сумма токсических солей 0,38 % в образцах почв, находящихся в 5 м от эпицентра разлива, до 0,21 %, на расстоянии 15 м от эпицентра разлива, следовательно, можно говорить о том, что количество токсичных солей снижается, по мере удаления от эпицентра нефтяного загрязнения к его периферии. Результаты анализов водной вытяжки свидетельствуют о том, что по величине сухого остатка (2,26% эпицентр разлива) и (1,19 % периферия разлива) нефтезагрязнённые аллювиальные почвы характеризуются как сильнозасоленные с хлоридно – сульфатно - натриевым типом засоления, что является начальным признаком проявления процесса техногенного галогенеза, не свойственного почвам гумидных территорий.

Установлено, что разливы сырой нефти сопровождаются поступлением в экосистему легкорастворимых солей (при их отсутствии в нативных почвах). Сумма солей в верхних горизонтах нефтезагрязнённых почв (хемоземов) варьирует в широких пределах: 0,35 %–1,12 % (эпицентр), 0,30 %–0,75 % (импактная зона), 0,41 %–0,63 % (граница разлива нефти), обуславливая явление солончаковатости. Между содержанием легкорастворимых солей и нефтепродуктами в загрязнённых почвах установлена прямая корреляционная связь ($r = 0,87$, при $p = 0,91$). Степень засоления хемоземов изменяется в интервале от слабой до средней. Во всех зонах техногенной нагрузки произошло значительное увеличение содержания хлорид-ионов (от 0,8 до 2,11 мг-экв/100 г. почвы) и натрия (от 1,5 до 5,95 мг-экв/100 г. почвы), с образованием соединений токсичных солей – NaCl и Na_2SO_4 , MgCl_2 . В условиях гумидного климата на техническом этапе ремедиации засоленных почв предлагается применять систему канав с последующим вымыванием легкорастворимых солей талыми водами.

На протяжении последних десяти лет неоднократно предлагались технологии рекультивации техногенно-засоленных участков нефтяных месторождений.

Перспективным казался метод полива загрязнённых земель пресной водой с последующей откачкой и вывозом на полигоны. Данный метод имеет отработанную практику и в основном используется на землях сельскохозяйственного назначения.

Однако технические регламенты, включающие полив техногенно засоленных участков, имеют некоторые специфические особенности: норма полива 5л/1м² не способна существенно снизить концентрацию токсичных водорастворимых солей в верхнем слое почв и сопоставима с естественным количеством осадков. Сбор воды после полива почвы специализированным автотранспортом предусматривает последующий вывоз загрязнённых вод, что обуславливает дополнительную статью затрат и делает данный метод крайне дорогостоящим и трудозатратным.

Механическая обработка почвы. Является техническим способом рекультивации. Не применим в условиях сильно заболоченной местности. На верховых болотах заменяется фрезированием почвы. При механической обработке верхнего слоя почвы ускоряется поверхностный вынос водорастворимых солей, улучшается аэрация почвы, что является положительным фактором для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Гипсование. Гипс активно включается в формирование почвенный поглощающий комплекс, заменяя натрий (катионно-анионный обмен). Количество гипса следует вносить только после проведения КХА почв.

Токсичные соли в корнеобитаемых горизонтах почв можно удалить, используя метод срезки засоленного грунта с последующим вывозом с участка. Данный способ восстановления нарушенных земель требует применения спецтехники – землеройного и грузового автотранспорта, что делает такой подход весьма дорогостоящим и практически неэффективным на органогенных почвах и больших территориях. Кроме того, необходимо узаконить размещение засоленного грунта на полигонах. Вывезенные объемы почв необходимо восполнить чистым грунтом (торфом, песком). Такой подход также неэффективен по причине накопления солей в нижележащих горизонтах почв, которые в дальнейшем могут спровоцировать процессы вторичного засоления.

Подготовительные мероприятия являются важнейшим этапом восстановления участка, при планомерном и своевременном графике производимых работ обеспечивают наиболее эффективный результат в процессе последующих стадий восстановления почвенных экосистем. Основной целью подготовительного этапа является расчистка участка от усыхающего и мертвого древостоя, завалов из срубленной ранее и сваленной в кучи древесины, строительного и бытового мусора и обвалование со стороны возможного повторного загрязнения нефтью и минерализованными водами, при условии, если она не проведена в ходе мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти. Не допускается выжигание и засыпание нефтяных пятен песком.

На территории участка, в соответствии с ГОСТ, закладывается почвенный разрез. Из слоев почвы толщиной (от дневной поверхности) 0-20 см до глубины залегания грунтовых вод отбираются пробы для химического анализа, отбираются пробы грунта (в водоемах и на залитых водой участках – пробы донных отложений) массой не менее 1 кг. Кроме того, отбираются пробы воды из водоемов (залитых водой участков) для химического анализа.

При высоком уровне засоления почво-грунтов, в замкнутых локальных микропонижениях рельефа, а также на переувлажнённых участках с обилием грунтовых вод, эффективным является устройство открытых дренажных систем/ каналов. Для устройства дренажных каналов производится оконтуривание засоленного участка перехватывающими каналами, с учётом уклона рельефа согласно разметке на местности. Для открытого дренажа, в основном используют траншеи шириной 50 см и глубиной 70 см, чтобы предотвратить осыпание стенок без дополнительной защиты, их делают под углом 25-40 градусов. Промывные и грунтовые воды из каналов отводятся в подготовленные в пониженных зонах участка приямки, и затем откачиваются в ассенизаторские машины с последующим вывозом собранной воды на объекты подготовки нефти для закачки в пласт (через систему ППД). На замкнутых локальных и обводнённых участках, где отсутствует или существенно ограничен естественный поверхностный сток, для восстановления почвы обеспечивается удаление грунтовых вод, содержащих водорастворимые соли, в том числе с использованием водоотводных канав и дренажных систем.

Фрезерование соленасыщенного участка высокооборотистой фрезой, рыхление и гипсование закреплённой. Для фрезерования используют гусеничные проходимые вездеходы (для твердых поверхностей), либо фрезой культиваторного типа, устанавливаемой на базе болотоходов (для топких, болотистых мест). Фрезерование является мощным регулирующим фактором, стимулирующим процесс рассоления почвы. Механическая обработка верхнего слоя почвы ускоряет поверхностный вынос водорастворимых солей, улучшает аэрацию почвы, стимулирует поселение почвы растительностью, является положительным фактором для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Фрезерование позволяет произвести перемешивание засоленного горизонта с карбонатным слоем почвы, образованным путем накопления легкорастворимых солей на поверхности почвы. Фрезерование целесообразно совмещать с внесением полного комплекса необходимых компонентов: гипса, микробов-деструкторов, а также фитомелиоративными мероприятиями. Производится с одновременным внесением гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) семян трав-индикаторов и культуры микробов-деструкторов (в случае наличия превышения концентрации нефтепродуктов). Внесение гипса во время фрезерования позволяет удалить из почвы избыток обменного натрия и хлоридов, отрицательно влияющих в первую очередь на физические свойства почвы. В результате гипсования натрия и хлориды, растворённые в почве, замещаются кальцием, в итоге улучшаются физические, физико-химические и биологические свойства почвы, что благоприятно сказывается на плодородии корнеобитаемого слоя.

Важным критерием при выборе удобрений является величина pH почвенного раствора:

- Кислая реакция почв (pH менее 5,5 ед.) – внесение мела или извести;
- Нейтральная реакция почв (pH от 5,5 до 8,5 ед.) – внесение гипса;
- Щелочная реакция (pH более 8,5 ед.) – необходима обработка серой, серной кислотой, внесение сульфата алюминия/сульфата железа.

На площади восстанавливаемого участка проводятся работы по посеву многолетних трав с разветвленной корневой системой, способствующей ускорению разложения углеводородов.

В этом способе в начале осуществления биологического этапа рекультивации земель галофиты высевают в чистом виде, а в последующие годы осуществляют смешанный посев галофитов и нефтестойких трав, изменяя их соотношение в течение нескольких лет, а затем осуществляют полную замену галофитов нефтестойкими культурами для сдачи рекультивированных участков комиссии. Посев растений галофитов также позволяет провести оценку фактического зарастания участка травянистой растительностью, что является подтверждением положительной динамики рассоления почв и восстановления их плодородия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солнцева Н.П. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза / Н.П. Солнцева // Почвоведение. – 2002. – № 1. – С. 9–20.

2. Геннадиев А.Н. Нефть и окружающая среда / А.Н. Геннадиев // Вестник Московского университета. – Серия 5. – География. – 2016. – № 6. – С. 30–39.

3. Nosova M.V. Transformation features of the main physicochemical and physical parameters of oil-contaminated alluvial soils in humid soil formation environment (Western Siberia) / M.V. Nosova, V.P. Seredina, I.M. Fedorchuk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 723. – P. 1–6.

4. Nosova M.V. Main Trends in Morphological Properties of Alluvial Soils under Conditions of Local Pollution with Oil Emulsions (Western Siberia) / M.V. Nosova, V.P. Seredina, A.S. Rybin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 723. – P. 1–7.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ЛУПИНГЕ SIMULATION OF A FLOW OF LIQUID IN A LOOPING

С. В. Артемчук^{1,2}, Е. П. Черевань^{1,2}

S. V. Artsiamchuk^{1,2}, E. P. Cherevan^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
et@iseu.by, artemchuk56@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Выполнено моделирование течения потока жидкости в лупинге на трехмерной модели исследуемого участка трубопровода. Проведено численное моделирование течения с использованием программного пакета ANSYS CFX. Получены распределение полного (статического) давления по трубопроводу, векторное поле скоростей и зоны турбулентности.

Modeling of the fluid flow in the looping was performed on a three-dimensional model of the use of a pipeline section. Numerical simulation of the structure was carried out using the ANSYS CFX package. Obtaining the total (static) pressure through the pipeline, the vector field of velocities and the turbulence zone.

Ключевые слова: лупинг, моделирование, поле скоростей, зоны турбулентности.

Keywords: looping, modeling, velocity field, turbulence zones.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-278-281>

Моделирование течений потока с помощью инструментов ANSYS CFX, получение анимации исследуемых явлений, а также результаты исследований в формате изображения используются для решения конкретных практических задач снижения гидравлических потерь и как следствие повышения энергетической эффективности трубопроводных систем.

При решении различных проблем часто приходится встречаться с вопросом о движении различных жидкостей, а также с вопросом о силовом (механическом) воздействии жидкости на те или другие поверхности и на обтекаемые ею твердые тела. Метод технической гидродинамики, согласно которому, как правило, не рассматривается распределения давлений и скоростей в отдельных точках пространства, основан на использовании некоторых осредненных и суммарных (интегральных) характеристик потока. Другой метод математической гидродинамики дает возможность представить поток в виде скалярного поля давлений и векторного поля скоростей, что позволяет определять интересующие нас величины давлений и скоростей, относящимися к отдельным точкам пространства. При решении практических задач приходится сочетать приемы технической гидродинамики жидкости с приемами математической механики жидкости.

Методика преподавания дисциплины «Механика жидкости и газа» использует приемы технической механики жидкости с приемами математической механики жидкости. Раскрывая сущность интегральных зависимостей, относящихся к технической гидродинамике, дает возможность получать точечные характеристики потока, подробно изучаемыми в математической гидродинамике [1].

Моделирование течения потока жидкости в лупинге (вспомогательный трубопровод, присоединяемый параллельно к основному трубопроводу на некоторой длине с целью увеличения пропускной способности) позволяет снять трудности в понимании внутренних процессов, протекающих в трубопроводах при течении жидкости. С этой целью была создана трёхмерная модель участка трубопровода с лупингом на которой проведено численное моделирование течения жидкости.

Для визуализации процессов, происходящих при течении жидкости в трубопроводе, было использовано программное обеспечение ANSYS CFX, находящееся в открытом доступе. Программный пакет ANSYS CFX [2], предназначен для моделирования поведения различных сред, позволяет решать инженерные задачи. С помощью анализа методом конечных элементов (FEA), поддерживаемого программой, возможно настраивать и автоматизировать решения задач, возникающих в различных сферах научных исследований и производства. При помощи ANSYS CFX становится возможной визуализация многих физических явлений и эффектов. При этом, в большинстве случаев, данные, полученные в ходе исследований репрезентативны и с некой погрешностью совпадают с реальными значениями. В связи с этим данный программный пакет является мощным инструментом для эффективного и более глубокого изучения учебного материала, так как даёт максимально наглядное и подробное представление об изучаемых явлениях и эффектах. С помощью ANSYS CFX обучаемый имеет возможность создать модель и, в кратчайшие сроки, получить результат исследования без проведения натурального опыта.

Примером таких результатов является поле скоростей в потоке жидкости на участке трубопровода с лупингом.

Схема исследуемого участка трубопровода представлена ниже на рис.1а, на которой размеры нанесены в миллиметрах, вынос лупинга равен 95 миллиметров, диаметр основной нити трубопровода равен 100 миллиметров, диаметр нити лупинга равен 50 миллиметров. Материал труб – алюминий 1060-H12 (нагартованный).

При проведении исследования был выделен следующий алгоритм действий:

1. Создание трехмерной модели рассматриваемого объекта.
2. Создание и выбор типа сетки.
3. Установка граничных условий, таких как вакуумметрическое давление на выходе из главного трубопровода, определение вида протекающей жидкости и выбор модели турбулентности.
4. Обработка, интерпретация и визуализация результатов исследования.

Трёхмерная модель исследуемого участка была сделана в программном пакете SolidWorks и представлена ниже на рис.1 б).

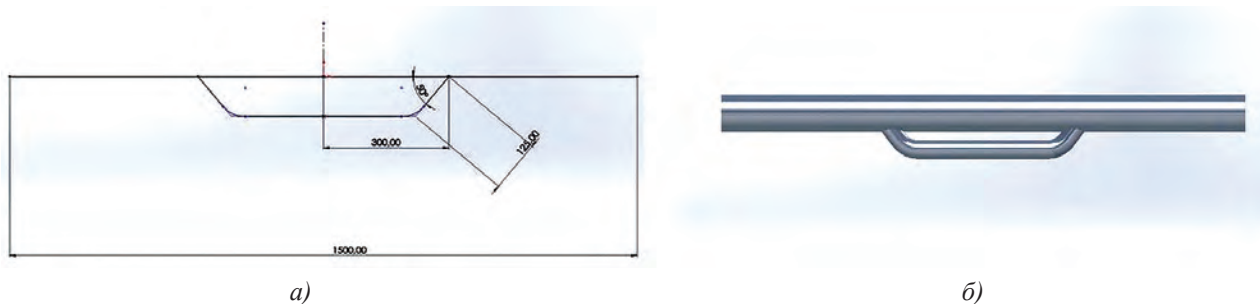


Рисунок 1 – а) схема исследуемого участка трубопровода;
б) трёхмерная модель исследуемого участка трубопровода

Тип сетки принят тетраэдрический с 5 призматическими слоями. Количество ячеек, на которые был разбит объект - 476106, с размером ячейки в 5 миллиметров. В области пограничного слоя каждый слой толще предыдущего на 20 процентов. Для более точных вычислений в местах присоединения дополнительной нити трубопровода было применено дополнительное измельчение сетки, размер ячеек в таких локациях составляет 2 миллиметра. Визуальное представление сетки изображено ниже на рис. 2 а), б), в)

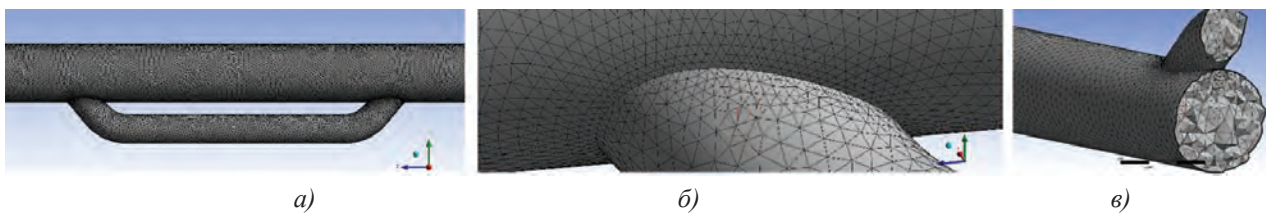


Рисунок 2 – а) общий вид трёхмерной модели с сеткой;
б) сетка в местах соединения трубопроводов; в) трёхмерная сетка внутри модели трубопровода

Граничные условия для задачи представлены ниже:

1. Тип анализа – квазистационарный (Steady State).
2. В качестве жидкости была выбрана условно несжимаемая вода в однофазном состоянии при 20 градусах Цельсия.
3. Критерий сходимости равен 0,00001.
4. В ходе проведения расчётов было выполнено 250 итераций.
5. В качестве модели турбулентности была выбрана дифференциальная модель турбулентности с двумя уравнениями. В данной модели строятся два дополнительных дифференциальных уравнения переноса для осредненных пульсационных характеристик, через которые выражается коэффициент турбулентной вязкости.

6. Расход на входе в основном трубопроводе равен 10 килограммам в секунду.

7. Шероховатость внутренних стенок трубопровода равна 0,4 микрометра.

Для определения качества работы соединений трубопроводов проведено численное моделирование течения с использованием программного пакета ANSYS CFX.

На рис.3а показано векторное поле скоростей в лупинге, по которому видно, что в трубопроводе меньшего диаметра, средняя скорость воды не превышает 0,75 метров в секунду, что почти в два раза меньше, чем средняя скорость в основной нити трубопровода.

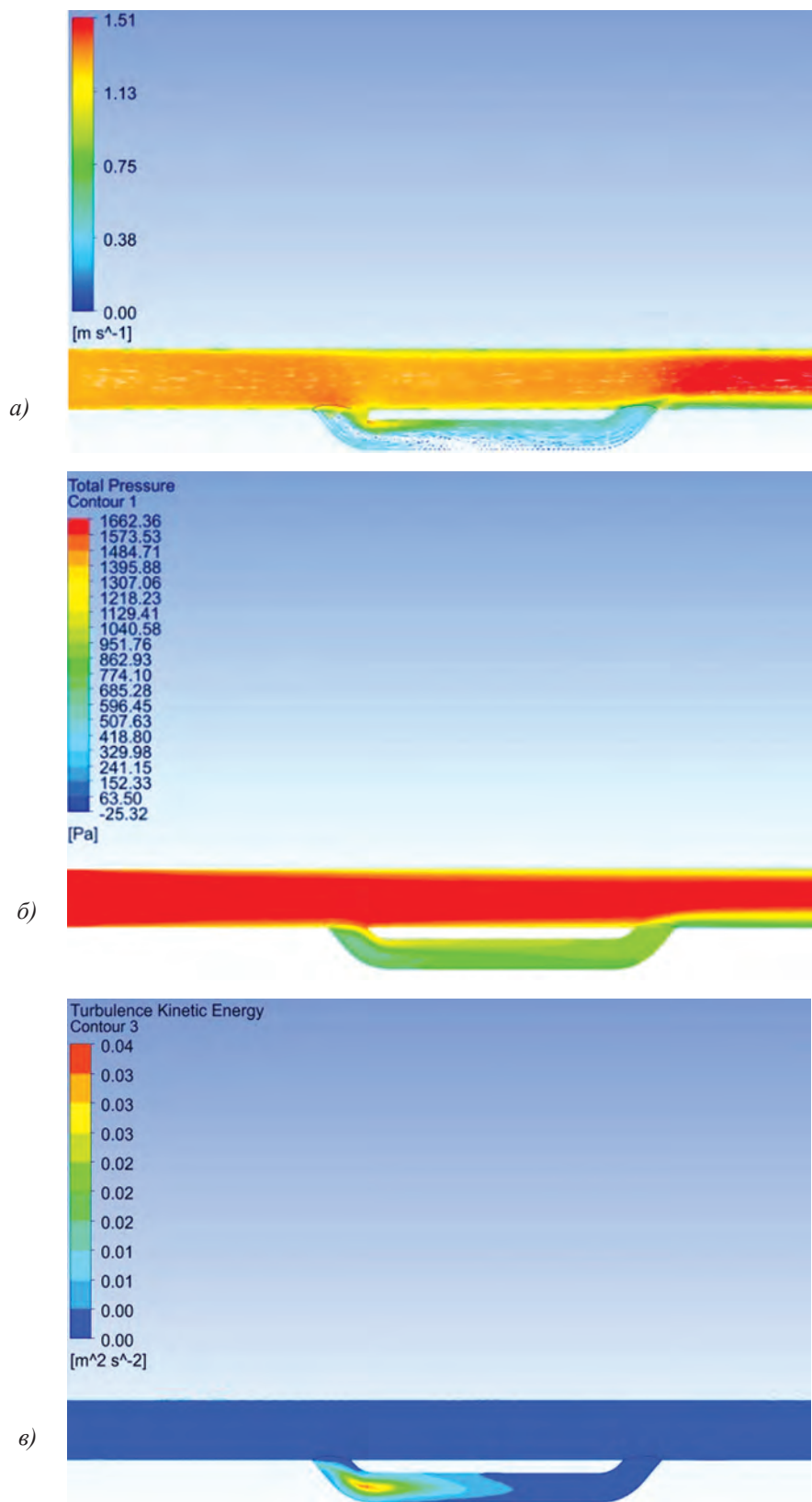


Рисунок 3 – а) векторное поле скоростей;
б) распределение полного (статического) давления по трубопроводу; в) демонстрация зон турбулентности

Таким образом, выполнено моделирование течения потока жидкости в лупинге на трехмерной модели исследуемого участка трубопровода. Проведено численное моделирование течения с использованием программного пакета ANSYS CFX. Полученные распределение полного(статического) давления по трубопроводу, векторное поле скоростей и зоны турбулентности позволяют оценить качество работы соединений трубопроводов и количественные характеристики для практических расчетов. Показан пример использования численного моделирования течения потока в учебном процессе для анализа гидравлических потерь и повышения энергоэффективности трубопроводных систем.

Использование ANSYS CFX как средство расчёта и анализа течения в областях сложной формы в учебном процессе обладает целым рядом преимуществ. Пакет совместим с операционными системами большинства компьютеров – это могут быть персональные компьютеры, рабочие станции, суперкомпьютеры. Отличительной чертой подобных комплексов можно назвать файловую совместимость всех электронных документов программного комплекса со всеми используемыми платформами. Из-за многоцелевой направленности и ориентированности появляется возможность использовать одну и ту же модель для решения не только гидродинамических задач, но и задач на прочность, задач по расчету температурных полей, влиянию магнитных полей и др. При создании модели на персональном компьютере, можно использовать её и на суперкомпьютере, что даёт всем пользователям программного комплекса хорошие возможности для решения разнообразного спектра сложных инженерных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов М.А. Механика жидкости и газа. Расчет вязкого течения в типовых элементах гидромашин : учеб. пособие / М.А. Арбузов, А.А. Жарковский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 80 с.
2. <https://www.ansys.com/>

СИНТЕЗ И ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ZnO ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

SYNTHESIS AND PLASMA MODIFICATION OF NANOSTRUCTURED ZnO-BASED PHOTOCATALYSTS FOR PHOTODEGRADATION OF PHARMACOLOGICAL WASTE

**А. В. Медведский^{1,2}, А. А. Щербович^{1,2}, И. И. Филатова³,
В. А. Люшкевич³, Н. А. Савастенко^{1,2}, С. А. Маскевич^{1,2}
А. V. Miadzvetski^{1,2}, A. A. Shcherbovich^{1,2}, I. I. Filatova³,
V. A. Lyushkevich³, N. A. Savastenko^{1,2}, S. A. Maskevich^{1,2}**

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
kfm@iseu.by, aleksandr.miadzvetski@iseu.by

³Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси» г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

³B. I. Stepanov Institute of Physics

В настоящей работе исследована кинетика реакций фотодеградации кофеина в присутствии катализаторов на основе наноструктурированного оксида цинка.

The kinetics of caffeine photodegradation is investigated in the presence of nanostructured ZnO-based catalysts.

Ключевые слова: фармакологические отходы, плазма, фотокатализатор, ZnO, фотодеградация, кофеин, диэлектрический барьерный разряд, обработка в плазме.

Keywords: pharmacological waste, plasma, photocatalyst, ZnO, photodegradation, caffeine, dielectric barrier discharge, plasma treatment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-281-285>

Проблема утилизации медицинских отходов (МО) и, в частности, фармакологических отходов рассматривается в настоящее время как важная экологическая компонента безопасности населения стран. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 15 % МО считаются опасными материалами, которые могут быть токсичными, инфекционными или радиоактивными [1]. Гетерогенный фотокатализ с использованием оксида цинка (ZnO) может эффективно применяться в разложении фармакологических отходов в водных средах.

Обработка и удаление МО может создать дополнительные косвенные риски для здоровья в результате освобождения в окружающую среду токсичных загрязнителей. Неправильно сконструированные места захоронения отходов могут загрязнять питьевую воду; широко применяемое сжигание отходов приводит к высвобождению в атмосферу загрязняющих веществ и образованию зольных остатков при использовании мусоросжигательных печей, не обеспечивающих температуру функционирования в диапазоне 850-1100°C и не оснащенных специальным оборудованием для газоочистки, отвечающее международным нормам выбросов диоксинов и фуранов [2].

Гетерогенный фотокатализ с использованием нанокатализаторов на основе полупроводниковых материалов, например, оксида цинка, рассматривается как перспективный способ очистки водных сред от отходов фармакологической промышленности, однако эффективность известных фотокатализаторов недостаточна для использования в промышленных масштабах [3].

Таким образом, модификация фотокатализаторов, направленная на повышение их активности, является актуальной научной задачей.

В предыдущих работах было показано, что плазменная обработка химически модифицированных фотокатализаторов на основе микродисперсного оксида цинка приводит к повышению их активности в реакциях фотодегradации метилового оранжевого [4, 5]. В настоящей работе фотокатализаторы на основе ZnO были синтезированы по методике, обеспечивающей синтез наноструктурированного материала [3].

Для синтеза были использованы гидроксид натрия (NaOH), нитрат серебра (AgNO_3), сульфат цинка гептагидрат ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), аскорбиновая кислота ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$) (ООО Белреактивпоставка)). Реактивы использовались без дополнительной очистки. В качестве катализатора сравнения был использован микродисперсный ZnO с линейными размерами гранул 100 – 1000 нм (Ч, «ЭКОС-1», Россия).

Для приготовления ZnO и Ag-ZnO следовали методике, описанной в [3]. ZnO получали при капельном добавлении 25 мл NaOH 0,4 моль/л в 25 мл ZnSO_4 0,2 моль/л с приблизительной скоростью добавления 5 мл/мин. После перемешивания на магнитной мешалке (IKA, Germany) со скоростью 150 об/мин в течение 60 мин, раствор выдерживали 2 часа при температуре 60 °C.

Композитные наночастицы Ag-ZnO были получены путем добавления 6 мл 0,01 моль/л аскорбиновой кислоты и 13 мл AgNO_3 0,01 моль/л в раствор NaOH и ZnSO_4 , при перемешивании в тех же условиях, что и в первом эксперименте, далее раствор выдерживали при 70 °C в течение 2 часов. На последнем этапе синтезированные продукты центрифугировали и несколько раз промывали дистиллированной водой и сушили в течение 24 ч.

Образцы ZnO-DBD и ZnO-Ag-DBD обрабатывались в плазме диэлектрического барьерного разряда, создаваемого в воздухе при нормальном давлении.

Общая схема установки для обработки катализаторов в плазме приведена на рисунке 1.

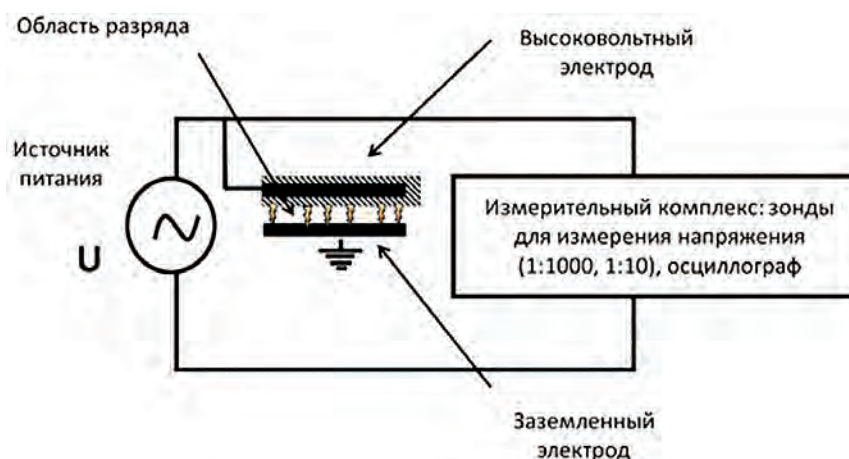


Рисунок 1 – Схема установки для создания диэлектрического барьерного разряда

Диэлектрический барьерный разряд создавался между плоским электродом, выполненным в виде сетки с диэлектрическим покрытием, и плоским металлическим заземленным электродом. Расстояние между электродами составляло 3 мм. Для подачи импульсного напряжения на верхний (сетчатый) электрод использовали источник питания ИПЭ-500/015, генератор импульсов Г5-54, ключ и трансформатор ТВС-110Л. Задающий генератор источника питания барьерного разряда работал на частоте 1 кГц. Вкладываемая в течение полного цикла разряда энергия составляла порядка 20 мДж.

Обрабатываемый образец размещался на заземленном электроде и подвергался воздействию плазмы в течение 15 минут.

Фотокаталитическую активность катализатора исследовали в модельной реакции разложения кофеина бензоната натрия (кофеина), симулирующего фармакологические отходы, под действием ультрафиолетового излучения в водных суспензиях синтезированных образцов.

Предварительно были проведены эксперименты, позволяющие установить влияние адсорбции кофеина на поверхности катализатора, т. е. оценить адсорбционную емкость катализатора. С этой целью катализатор, диспергированный в водном растворе кофеина бензоната натрия, перемешивали в магнитной мешалке в отсутствие облучения в течение 60 минут. Изменение концентрации кофеина контролировали по изменению интенсивности в максимуме его полосы поглощения ($\lambda=272$ нм). Была исследована адсорбционная емкость как необработанного, так и обработанного ZnO.

На рисунке 2 представлены результаты темновой (в отсутствие облучения ультрафиолетовым светом) адсорбции кофеина для фотокатализаторов на основе ZnO, допированных наночастицами Ag до и после обработки в плазме. Для сравнения приведены также данные для не допированного ZnO до и после обработки в плазме. Как видно из рисунка 2, для всех исследованных катализаторов существенной адсорбции кофеина в условиях отсутствия облучения ультрафиолетовым светом не наблюдалось.

При проведении экспериментов по исследованию фотокаталитической активности для приготовления суспензии навеску катализатора массой 40 мг смешивали с 20 мл водного раствора кофеина бензоната натрия в концентрации 300 мг/л. Растворы были приготовлены на основе дистиллированной воды.

Выбранная концентрация кофеина для модельной реакции находится в диапазоне концентраций, содержащихся в сточных водах. Установлено также, что выбранные значения концентрации модельных веществ попадают в линейный диапазон калибровочного графика зависимости оптической плотности от концентрации поглощающего вещества. Суспензии катализаторов в водных растворах модельных веществ подвергали воздействию УФ-излучения.

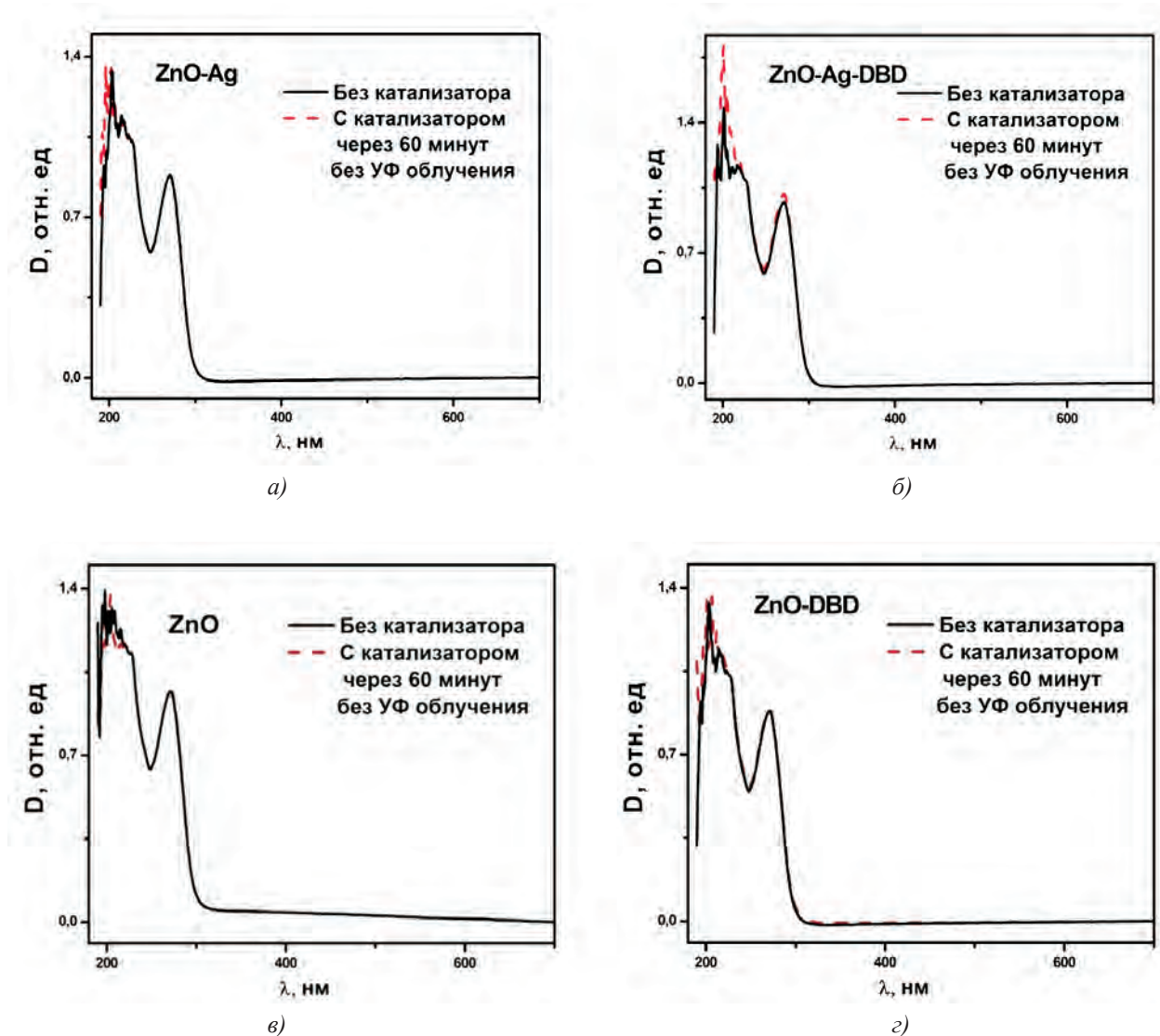


Рисунок 2 – темновая адсорбция кофеина на поверхности модифицированного наночастицами ZnO до (а) и после (б) плазменной обработки, темновая адсорбция необработанного ZnO до (в) и после (г)

В качестве источника ультрафиолетового излучения использовали ртутно-кварцевую лампу ДРТ-240 (мощность 240 Вт). В процессе облучения контролировали изменение концентрации кофеина в растворе с помощью

спектрофотометра SOLAR PB 2201 (SOLAR, Беларусь). Облучение проводилось при постоянном перемешивании суспензии в магнитной мешалке COLOR SCUID IKAMAG WHITE (IKA, Германия) со скоростью 200 об/мин.

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

$$C_r = \frac{C(t)}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_t}{A_0} \cdot 100\% \quad C_r = \frac{C(t)}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_t^{465}}{A_0^{465}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация модельного вещества, $C(t)$ – концентрация модельного вещества после облучения его УФ излучением в момент времени t , A_0 и A_t – оптическая плотность раствора модельного вещества в максимуме поглощения ($\lambda=272$ нм) до начала облучения и в момент времени t после начала облучения образца соответственно.

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

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

$$\frac{dC}{dt} = -kC. \quad (2)$$

Здесь C – концентрация разлагаемого вещества, k – константа реакции. Решение уравнения (2) можно представить следующим образом:

$$C(t) = C_0 e^{-kt}. \quad (3)$$

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

$$\ln \frac{C(t)}{C_0} = -kt. \quad (4)$$

Полученные константы реакции представлены в таблице 1.

Таблица 1 – константы реакции фотодегradации кофеина в присутствии катализатора на основе ZnO

Образец	$k, \text{с}^{-1}$
ZnO (ECOS-1)	$5,2 \times 10^{-4}$
ZnO	$2,0 \times 10^{-3}$
ZnO-Ag	$1,1 \times 10^{-3}$
ZnO-Ag-DBD	$7,4 \times 10^{-4}$
ZnO-DBD	$1,1 \times 10^{-3}$

Как видно из таблицы 1, все синтезированные фотокатализаторы обладают большей активностью, чем коммерчески доступный оксид цинка ZnO ЭКОС. Активность фотокатализаторов убывает в следующем порядке: ZnO>ZnO-DBD=ZnO-Ag-DBD>ZnO-Ag>ZnO ЭКОС.

Активность синтезированного ZnO, выраженная в терминах константы скорости реакции, выше активности коммерчески доступного оксида цинка (ZnO ЭКОС) примерно в 4 раза (3,8 раз). Тем не менее, модификация синтезированного материала приводит к уменьшению активности синтезированного катализатора. Для установления причин понижения активности наноструктурированного ZnO после его химической и плазменной модификации необходимо проведение дополнительных исследований.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», подпрограмма «Микромир плазма и Вселенная», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов», а также гранта Министерства образования РБ по проекту «Плазмоиндуцированная модификация допированных плазмонными наночастицами катализаторов для фотодегradации фармакологических отходов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste/>. – Дата доступа: 11.03.2019.
2. Shcherbina, E. Pharmaceuticals waste / E. Shcherbina, A. Batyan, A. Kireykov // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века: материалы 17-й международной научной конференции, 18-19 мая 2017 г. г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ; под ред. С.А.Маскевича, С.С.Позняка. – Минск, 2019. – Ч.2. – С.187-188.
3. Tran Thi, V. H., Synergistic Adsorption and Photocatalytic Activity under Visible Irradiation Using Ag-ZnO/GO Nanoparticles Derived at Low Temperature / T. Cao, T. Pham, M. Le // Journal of Chemistry. – 2019. – P. 1–13.

4. A comparative study on photocatalytic activity of ZnO-based photocatalysts treated by dielectric barrier discharge plasma / N.A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2020. – V. 24, № 4. – P. 275–291.
5. Effect of impregnation by silver nanoparticles on the efficiency of plasma-treated ZnO-based catalysts / N. A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2020. – V. 24, № 1. – P. 21–45.

РЕАЛИЗАЦИЯ СТОКГОЛЬМСКОЙ КОНВЕНЦИИ ПО СТОЙКИМ ОРГАНИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

IMPLEMENTATION OF THE STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

В. Д. Дузинчук^{1,2}, С. Е. Головатый^{1,2}
V. D. Duzinchuk^{1,2}, S. E. Golovaty^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

*²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kem@iseu.by, sscience@yandex.ru*

¹Belarusian State University, BSU

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

Проблема негативного влияния стойких органических загрязнителей (СОЗ) на здоровье населения и окружающую среду является глобальной. Решение проблемы СОЗ сегодня – одна из приоритетных экологических задач всего мирового сообщества. Актуальность проблемы реализации обязательств Республики Беларусь о стойких органических загрязнителях состоит в том, что на территории нашей страны все еще остается определенное количество этих веществ. Согласно принятым и реализуемым программам относительно сокращения и полного прекращения использования СОЗ, к концу нынешнего десятилетия в Беларуси должны быть уничтожены все запасы полихлорированных бифенилов (ПХБ) и непригодных пестицидов.

The problem of the negative impact of persistent organic pollutants (POPs) on public health and the environment is a global one. Nowadays, the solution of the POPs problem is one of the priority environmental tasks of the international community. Relevance of the problem of implementation of obligations of the Republic of Belarus on persistent organic pollutants lies in the fact that a certain amount of these substances still remains in the territory of our country. According to adopted and implemented programs on reduction and complete cessation of use of these substances, all stocks of polychlorinated biphenyls (PCBs) and obsolete pesticides in Belarus have to be destroyed by the end of the current decade.

Ключевые слова: Стокгольмская конвенция, стойкие органические загрязнители (СОЗ), полихлорированные дифенилы (ПХД), непригодные пестициды.

Keywords: Stockholm Convention, persistent organic pollutants (POPs), polychlorinated biphenyls (PCBs), obsolete pesticides.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-285-288>

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) – это химические вещества, медленно разлагающиеся или абсолютно не разлагающиеся в естественных условиях [1]. К ним относится группа синтетических соединений, которые применяются в сельском хозяйстве в качестве пестицидов, используются в промышленности или образуются самопроизвольно в качестве побочных продуктов сгорания или промышленных процессов. Они токсичны даже в крайне малых концентрациях.

СОЗ являются глобальной экологической проблемой вследствие их устойчивости, способности мигрировать на большие расстояния и накапливаться в объектах окружающей среды и в тканях живых организмов, отравляя людей, животных и растения.

С целью решения данной глобальной проблемы 22 мая 2001 года была принята Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях, целью которой является защита здоровья людей и окружающей среды от высокотоксичных химических веществ, содержащихся в окружающей среде и воздействующих на людей

и живую природу. Стороны выполняют обязательства по Конвенции, включая обязательства по прекращению или ограничению производства и использования преднамеренно производимых СОЗ, запрету и прекращению производства, использования или импорта СОЗ, проведению исследований, определению областей, загрязненных СОЗ, а также обеспечению финансовой поддержки и стимулированию исполнения Конвенции.

В настоящее время к СОЗ, согласно Стокгольмской Конвенции и дополнениям к ней, отнесено 24 вещества. Основной упор приходится на аспект обращения с ПХБ-содержащим оборудованием и непригодными пестицидами.

Стокгольмская конвенция была ратифицирована Республикой Беларусь 17 мая 2004 г. Во исполнение обязательств, принятых Республикой Беларусь по реализации положений Стокгольмской конвенции, а также в целях определения эффективных мер по решению проблемы применения стойких органических загрязнителей в Республике Беларусь разработаны Национальный план выполнения обязательств, принятых Республикой Беларусь по Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, на 2007-2010 годы и на период до 2028 года (далее – Национальный план), утвержденный Указом Президента Республики Беларусь от 12 июня 2007 г. № 271, Подпрограмма 3 Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на периоды 2016–2020 гг. и 2021–2025 гг.

Основными видами СОЗ-содержащих отходов, обращение с которыми регламентируется перечисленными законодательными и нормативно-правовыми актами, являются [2]:

- выведенное из эксплуатации оборудование, содержащее полихлорированные бифенилы;
- идентифицированные и не идентифицированные смеси непригодных пестицидов;
- изъятые почвы, загрязненные ПХБ и непригодными пестицидами;
- упаковочные материалы, загрязненные непригодными пестицидами.

В части обращения с полихлорированными бифенилами Республика Беларусь, как Сторона Стокгольмской конвенции, определила целевые показатели выполнения обязательств в Долгосрочной программе обращения с ПХБ для каждого органа государственного управления, в подчинении которого находятся предприятия и организации – собственники ПХБ, и предусматривают достижение следующих результатов [5]:

– к 2025 году вывод из эксплуатации всего имеющегося в Республике Беларусь ПХБ-содержащего оборудования;

– экологически безопасное обезвреживание к 2025 году всех находящихся в стране ПХБ-содержащих трансформаторов, а к 2028 году – ПХБ-содержащих конденсаторов.

Особенность имеющегося в республике ПХБ-содержащего оборудования заключается в том, что подавляющая его часть представлена конденсаторами. Трансформаторы составляют лишь малую часть – 0,7%. Именно по этой причине срок выполнения целевых показателей обезвреживания ПХБ-содержащих трансформаторов назначен на 2025 г., а конденсаторов – на 2028 г. [5].

Анализ распределения ПХБ-содержащих конденсаторов по министерствам и концернам показывает, что наибольшая часть данного вида оборудования находится в ведомствах министерства промышленности и министерства энергетики. Соответственно на их долю и приходится наибольший целевой показатель по выводу ПХБ-содержащих конденсаторов.

По результатам проведения инвентаризации ПХБ-содержащего оборудования можно отследить выполнение Долгосрочной программой обращения с ПХБ в Беларуси и подпрограммы 3 Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» (рис. 1).

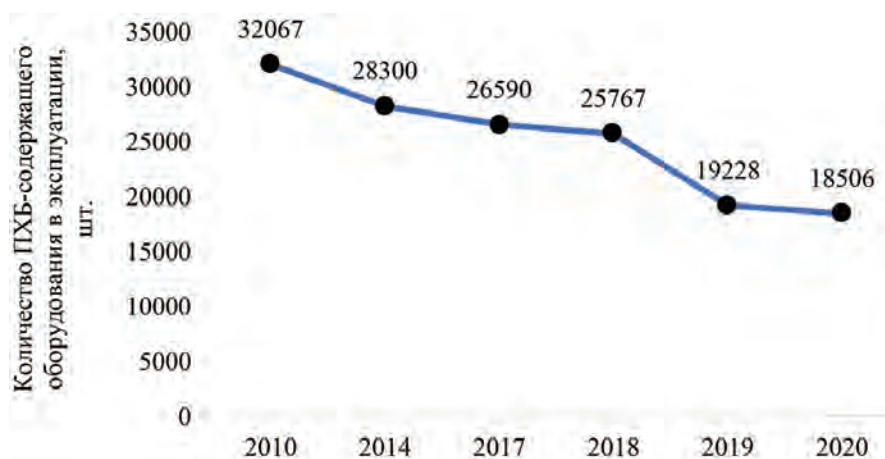


Рисунок 1 – Количество находящегося в эксплуатации (резерве) ПХБ-содержащего оборудования

Представленные графики отражают тенденцию и темпы снижения использования ПХБ-содержащего оборудования, направленные на вывод данного оборудования из эксплуатации. Степень достижения в 2020 году планового значения целевых показателей составила 62,6 % – фактически достигнутое значение целевого показателя, при 50 % – плановое значение целевого показателя подпрограммы, что свидетельствует о высокой эффективности реализации данных программ [3].

Таким образом, на сегодняшний день из 54 тыс. единиц ПХБ-содержащего оборудования, имевшихся на 2010 г., в эксплуатации находятся только 18,5 тыс. единиц. Около 31 тыс. единиц уже выведено из эксплуатации и хранится на специально оборудованных складах и в помещениях соответствующих производств. К 2025 г. согласно Долгосрочной программе обращения с ПХБ количество выведенного электрооборудования, содержащего ПХБ, должен составить 100 % и к 2028 г. территория нашей страны должна быть полностью освобождена от оборудования, содержащего ПХД.

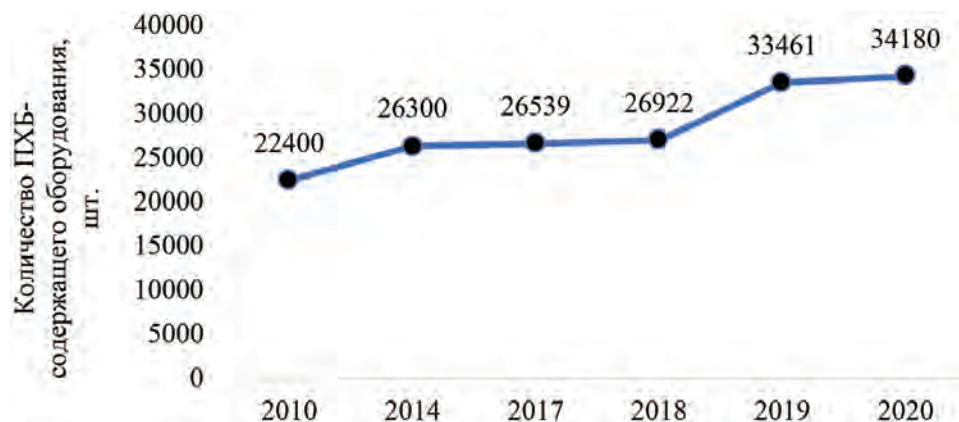


Рисунок 2 – Количество выведенного из эксплуатации ПХБ-содержащего оборудования

Согласно Стокгольмской конвенция о стойких органических загрязнителях к этой группе веществ также относятся некоторые пестициды применяемые или выведенные из обороты, однако находящиеся до настоящего времени в достаточном количестве на территории Беларуси. В целом система обращения с пестицидами в Республике Беларусь включает в себя два крупных аспекта:

1. государственную регистрацию химических и биологических средств защиты растений, регуляторов роста растений и удобрений (ведение Государственного реестра средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь);

2. управление непригодными пестицидами, в том числе относящихся к СОЗ.

Всего на складах и в захоронениях Республики Беларусь в настоящее время хранится более 10 000 тонн непригодных пестицидов. Основными причинами, их накопления являются:

- запрещение к использованию уже приобретенных препаратов из-за повышенной экологической опасности;
- низкая стабильности при хранении;
- истекшие сроки реализации препаратов.

До 2028 года территория республики должна быть полностью очищена от запасов непригодных пестицидов [3]. В 2011 году 13% их хранилось на складах сельхозпредприятий, 45% - в КУП «Комплекс по переработке и захоронению токсичных промышленных отходов Гомельской области», остальное – в шести подземных захоронениях. Анализ распределение непригодных пестицидов по местам хранения в 2020 г. по сравнению с 2011 г. показал, что процентное соотношение распределения непригодных пестицидов за 9 лет практически не изменилось. Это обусловлено параллельными поступлениями количеств этих веществ из хозяйств республики и других мест хранения на КУП «Комплекс по переработке и захоронению токсичных промышленных отходов Гомельской области» и вывозом данных отходов за границу для экологически безопасной утилизации [4].

Анализ показывает, что по состоянию на 2011 г. 42% от общего объема непригодных пестицидов (почти 3811,2 т) были размещены в 6 захоронениях, три из которых находились в Витебской области (Верхнедвинское, Поставское, Городокское), одно – в Гомельской области (Петриковское), одно – в Гродненской области (Слонимское) и одно – в Могилевской области (Дрибинское). В 2007 году в рамках реализации Национального плана было ликвидировано Брестское захоронение непригодных пестицидов (д.Гершоны). Также в 2012 г. ликвидировано Слонимское захоронение. В настоящее время проводятся работы к ликвидации самого крупного, Петриковского захоронения непригодных пестицидов, на котором размещено 1423,3 т. или 37,4% непригодных пестицидов [4]. Пестициды переносятся на комплекс в Чечерске для долгосрочного хранения. Таким образом, в предстоящей перспективе в республике еще будет действовать 4 захоронения непригодных пестицидов.

Основным препятствием для выполнения обязательств по реализации положений Стокгольмской конвенции и успешного функционирования системы обращения с СОЗ в Республике Беларусь является невозможность утилизации СОЗ-содержащих отходов на территории страны. Это проблема решается в ходе международного сотрудничества Беларуси с другими странами Европы и СНГ. Республике Беларусь выделено финансирование Глобального экологического фонда для реализации крупномасштабных проектов по управлению опасными веществами (отходами), в частности их утилизации, с общим объемом финансирования более 12 млн. долл. США. В рамках реализации данных проектов планируется осуществить целый комплекс мероприятий, позволяющий системно решить проблему утилизации СОЗ-содержащих отходов в стране. Примерами могут служить проект международной технической помощи «Устойчивое управление стойкими органическими загрязнителями и химическими

веществами в Республике Беларусь, ГЭФ-6», который до 2023 года предусматривает экологически безопасную утилизацию 2370 тонн ПХБ-содержащих отходов и 1900 тонн непригодных пестицидов за пределами Республики Беларусь (на данный момент в ходе реализации проекта уже 700 тонн пестицидов вывезено для утилизации в Германию), а также проект международной технической помощи «Согласованное управление утилизацией озоноразрушающих веществ и стойких органических загрязнителей в Беларуси, Украине, Казахстане и Армении», по которому завершается строительство КУП «Комплекс по переработке и захоронению токсичных промышленных отходов Гомельской области» (мощность линии – 1600 тонн в год; предполагается, что после утилизации пестицидов будет произведено переоснащение линии для извлечения ПХБ из трансформаторов, конденсаторов и прочего ПХБ-содержащего оборудования и их утилизация в количестве 930 тонн).

Таким образом, можно утверждать, что в Республике Беларусь разработана и успешно действует система управления стойкими органическими загрязнителями для реализации положений Стокгольмской конвенции.

С момента ввода в действие системы управления стойкими органическими загрязнителями около 63 % (34 тыс. шт.) оборудования, содержащего ПХД, было выведено из эксплуатации. Около 18 тысяч единиц этого оборудования все еще находятся в эксплуатации, но к 2025 году оно должно быть выведено из обращения, а к 2028 году утилизировано или вывезено за пределы страны. На начало 2020 года на «Комплексе по переработке и утилизации токсичных промышленных отходов Гомельской области» хранится около 4,5 тыс. тонн смесей непригодных пестицидов. На 5 действующих полигонах непригодных пестицидов находится около 4,4 тыс. тонн смесей непригодных пестицидов. Также на территории республики находится 64 склада, на которых размещено более 1,5 тыс. тонн непригодных пестицидов (рис. 3).



Рисунок 3 – Распределение непригодных пестицидов по местам хранения, 2020 г., тыс. т

Для решения проблемных вопросов, связанных со стойкими органическими загрязнителями, Республике Беларусь выделено финансирование от Глобального экологического фонда для реализации проектов по управлению СОЗ. В ходе действия данных проектов за пределами республики уже уничтожено 22,9 т опасных отходов, содержащих ПХБ, и около 700 тонн смесей непригодных пестицидов.

Одним из основных мероприятий по реализации данных проектов является строительство и эксплуатация экологически безопасного пункта хранения стойких органических загрязнителей и других опасных отходов на базе «Комплекса по переработке и захоронению токсичных промышленных отходов Гомельской области».

ЛИТЕРАТУРА

1. Какарека, С.В. Стойкие органические загрязнители: источники и оценка выбросов / С.В. Какарека, Т.И. Кухарчик, В.С. Хомич. – Мн.: РУП «Минсктиппроект», 2003. – 220 с.
2. Интегрированное управление отходами в Беларуси. Компонент III Обращение с запасами стойких органических загрязнителей. Оценка воздействия на окружающую среду: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, ноябрь 2009 г. – 127 с.
3. Оценочный доклад о существующих соответствующих материалах по РВПЗ и инфраструктуре на национальном уровне: принят Национальным вводным семинаром 17 авг. 2017 г.: офиц. текст – РУП «БелНИЦ «Экология», 2017. – 129 с.
4. Отчет Минприроды о выполнении в 2020 году и за период 2016 – 2020 годы Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016 – 2020 год: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/ru/prog/>. – 33 с.
5. Долгосрочная Программа обращения с ПХБ в Республике Беларусь: утверждено Решением Координационного совета по выполнению Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях 27 дек. 2011 г. – 22 с.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЪЕДОБНЫЕ УПАКОВОЧНЫЕ ПЛЕНКИ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ POLYFUNCTIONAL EDIBLE PACKAGING FILMS WITH PLANT ADDITIVES

***А. П. Леонтьев, Т. А. Савицкая, И. М. Кимленко, С. Е. Макаревич, Д. Д. Гриншпан
A. Liavontsyeu, T. Savitskaya, I. Kimlenka, S. Makarevich, D. Hrynshpan***

*Белорусский государственный университет, БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
SavitskayaTA@bsu.by
Belarusian State University, BSU
Minsk, Republic of Belarus*

Дан анализ современного состояния проблемы пластиковых отходов. Описана реология формовочных растворов на основе крахмала и альгината натрия, содержащих растительные добавки в виде водных экстрактов, эфирных масел, а также наночастицы серебра. Установлено наличие тиксотропных свойств у композиций, содержащих масло мяты, в отличие от композиций, содержащих масла цитрусовых. Показано, что пленки, полученные из исследованных формовочных композиций, обладают антимикробной и антиоксидантной активностью.

An analysis of the current state of the plastic waste problem is given. The rheology of molding solutions based on starch and sodium alginate containing plant additives in the form of aqueous extracts, essential oils and silver nanoparticles is described. The presence of thixotropic properties in compositions containing mint oil, in contrast to compositions containing citrus oils, has been established. It is shown that the films obtained from the studied molding compositions have antimicrobial and antioxidant activity.

Ключевые слова: съедобная упаковка, полисахариды, реология, антиоксиданты, растительные экстракты, ДФПГ.

Keywords: edible packaging, polysaccharides, rheology, antioxidants, plant extracts, DPPH.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-289-292>

В настоящее время население разных стран демонстрирует рост спроса на продукты питания в готовом к употреблению виде. В отличие от исходных продуктов они более уязвимы к воздействию внешних факторов, таких как кислород, влага, температура, свет и патогенные микроорганизмы [1], а поэтому являются скоропортящимися и при отсутствии должной защиты теряют органолептические свойства. Для увеличения срока и качества хранения такой продукции в наибольшей степени подходят так называемые «активные» упаковочные полимерные материалы [2], которые содержат в своей структуре иммобилизованные антибактериальные и (или) антиоксидантные добавки, способные задерживать рост бактерий, замедлять процессы окисления и, соответственно, увеличивать срок хранения продукта, сохранять его внешний вид и полезные свойства.

В то же время в соответствии с современными экологическими требованиями к упаковочным материалам они не только должны обеспечивать пищевую безопасность при хранении и транспортировке, но и быть безопасными для окружающей среды. Многолетнее использование бионеразлагаемых синтетических полимеров, таких как полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат и др. для упаковки пищевых продуктов превратилось в глобальную проблему современности, которая до сих пор не решена и грозит экологической катастрофой. Предложенные в качестве альтернативы композиционные упаковочные материалы на основе полиолефинов, содержащие крахмал или добавки типа TDPA (Totally Degradable Plastic Additives) [3], разлагающиеся на свету в присутствии кислорода, на самом деле обеспечивают только биораспадаемость композитов, что не улучшает экологию. Образующиеся после разложения наполнителя мелкие частицы пластика (микропластик) разносятся ветром и водой, загрязняют почву, гидро- и атмосферу и по пищевой цепочке попадают в организм человека. Как следствие, в результате борьбы с пластиковыми отходами возникла новая проблема – загрязнение окружающей среды микропластиком, которая сегодня рассматривается мировым сообществом как глобальная.

Появившиеся в последнее время пластики на основе полилактида, полигидроксипропионата и поли-ε-капролактона, которые позиционируются их производителями как биоразлагаемые, также не решают существующую проблему, поскольку они подвержены разложению не в окружающей среде, а только в специальных условиях на компостных фабриках. Кроме того, по своим физико-химическим свойствам (более низкая температура плавления) они не могут быть подвергнуты рециклингу вместе с традиционными полимерами, например, полиэтилентерефталатом, и, таким образом, проблема пластиковых отходов и в этом случае остается нерешенной.

Как одну из мер борьбы с пластиковыми отходами можно предложить организацию промышленного производства новых видов первичных упаковок, полностью разлагаемых в организме человека и животных, т.е. пищевых съедобных плёнок и покрытий. Они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к существующим упаковкам пищевых продуктов, и являются единственным видом биоразлагаемой полимерной упаковки, который не нуждается в индивидуальном сборе и специальных условиях утилизации. Съедобная упаковка – это биodeградируемый полимерный материал, который демонстрирует альтернативный микробиальному механизму (разложению в окружающей среде под действием бактерий или грибов) механизм биоразложения под действием внутриклеточных и неклеточных ферментов (эндо- и экзоэнзимов), содержащихся в желудке и кишечнике человека и животных, заключающийся в протекании реакций окисления и гидролиза [4]. Съедобная упаковка объективно не может заменить всю пластиковую упаковку, однако даже частичная замена традиционной пластиковой упаковки на съедобную может снизить нагрузку на окружающую среду и позволит значительно уменьшить объем отходов, измеряемый в тысячах тонн.

В таких странах, как США, Франция, Германия, Япония и Китай, наблюдается постоянно растущий интерес к съедобной упаковке, о чем свидетельствует значительное количество публикаций и уже полученных патентов и выпуск промышленных образцов. В последние годы доход от продаж съедобных упаковок составляет сотни миллионов долларов [2, 3], что свидетельствует о растущей потребности в таких материалах и перспективности развития их производства.

Однако инновационная упаковка на основе пищевых полимеров имеет существенный недостаток – на её поверхности способны развиваться микроорганизмы. Колонии микроорганизмов создают микрошероховатости на поверхности пластиков, которые существенно ухудшают качество упаковки, в частности повышают её проницаемость по отношению к различным газам, в первую очередь к кислороду, что приводит к преждевременной порче продуктов. Для решения этой проблемы применяют предварительную стерилизацию поверхности пленок непосредственно перед использованием (фасовкой продукции) с помощью различных физических методов или химических агентов, например, ультразвуком, обработкой горячим воздухом или перекисью водорода. Однако данные методы обеспечивают только обеззараживание исходного материала и не гарантируют антимикробную защиту упаковки при её использовании.

Введение антимикробных агентов непосредственно в полимерный материал в процессе его создания способно улучшить защитное действие новых упаковочных материалов, поскольку введение антимикробного агента (добавки) в полимерную матрицу позволяет закрепить его в слое материала, увеличив таким образом срок его действия, а также осуществлять массоперенос антимикробного агента из упаковки в продукт.

Среди большого ассортимента антимикробных добавок, которыми могут быть ионы металлов, сами металлы и их соединения; химические консерванты – органические кислоты, соли, эфиры, синтетические полимерные соединения с антимикробной активностью (АМА), например, полигуанидины, полифосфонаты, антибиотики и бактериоцины микробного происхождения и т.п., наибольший интерес представляют вещества природного происхождения с антимикробными свойствами, в частности водные экстракты трав и пряностей, эфирные масла. Эти добавки интересны тем, что компоненты, входящие в их состав, в ряде случаев обеспечивают еще и антиоксидантную активность (АОА).

Целью настоящей работы явилось получение съедобных пленок на основе композиций кукурузного крахмала (КК) с альгинатом натрия, содержащих растительные добавки с АОА и АМА в виде эфирных масел, спиртовых экстрактов, водных экстрактов чая и наноразмерные частицы серебра, оценка реологических свойств формовочных композиций, АОА и АМА полученных пленок.

Реологические измерения проводились на ротационном реометре BrookfieldR/S с использованием коаксиальных цилиндров в качестве измерительной системы. Для проведения измерений была использована программа, в которой увеличение и последующее уменьшение скорости сдвига происходило ступенчато, что позволяло фиксировать наличие у исследованных растворов тиксотропных свойств. Измерения вязкости всех растворов проводили по мере охлаждения растворов в интервале 353–333 К. Энергию активации вязкого течения растворов рассчитывали на основании зависимости логарифмической вязкости от величины обратной температуры. Расчет энергии активации вязкого течения проводили при скорости сдвига 586 с⁻¹.

АОА пленок определяли методом восстановления 2-2-дифенил-1-пикрилгидразида (ДФПГ). В лунки микропланшета помещали предварительно приготовленные экстракты пленок, затем к экстрактам прибавляли ДФПГ, после чего кюветы оставляли в темном месте на 30 минут для протекания реакции между радикалом и антиоксидантами пленок. Через 30 минут измеряли абсорбцию при длине волны 515 нм на микропланшетном ридере GloMax-Multi Detection System Technical Manual, TM297.

АМА пленок была оценена методом диффузии в агар [5].

Как следует из данных рисунков 1 и 2, включение в состав формовочных композиций наряду с полимерами различных эфирных масел существенно не изменяет псевдопластический характер течения.

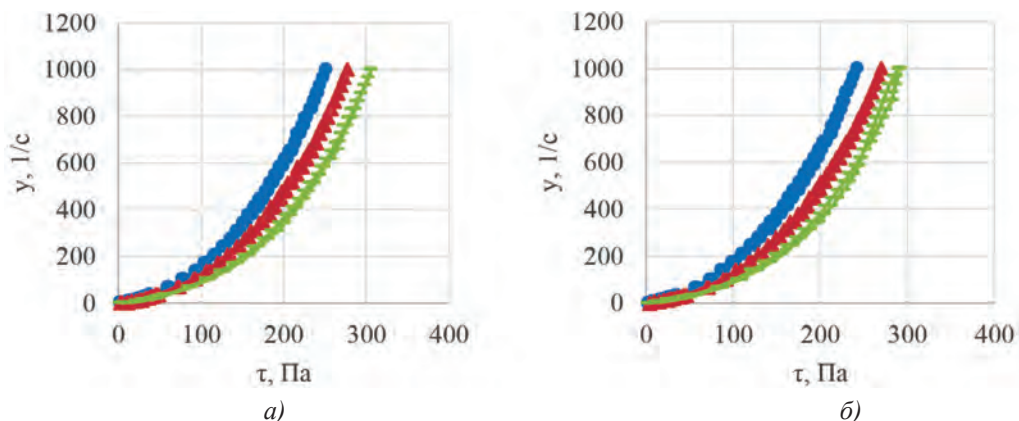


Рисунок 1 – Кривые течения растворов состава КК/АН = 80/20 без добавок (а) и с маслом грейпфрута (б) при температурах 353 К (●), 343 К (▲) и 333 К (■)

Однако, растворы, содержащие масла цитрусовых растений в отличие от раствора, содержащего масло мяты не проявляют тиксотропных свойств. На тиксотропию раствора КК/АН состава 80/20 с добавкой масла мяты указывает наличие петель гистерезиса на кривых течения при всех исследованных температурах. Увеличение температуры до 343 К приводит к уменьшению тиксотропности. Можно предположить, что различия в реологическом поведении согласуются с преобладанием в составе цитрусовых масел лимонена, а в мятном масле – ментола, который в отличие от лимонена содержит гидроксильную группу, что приводит к большей структурированности композиций, содержащих его в своем составе.

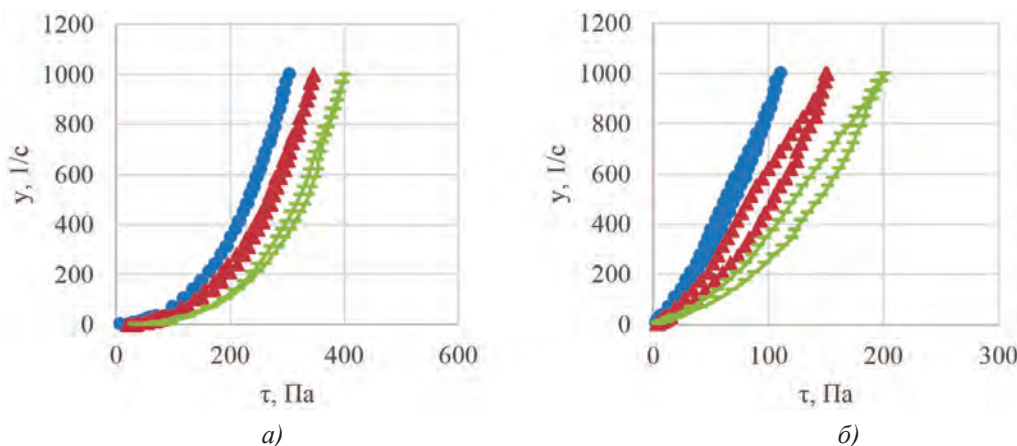


Рисунок 2 – Кривые течения растворов состава КК/АН = 80/20 с эфирными маслами лимона (а) и мяты (б), при температурах 353 К (●), 343 К (▲), 333 К (■)

Введение в формовочные композиции наноразмерных частиц серебра в виде золь, стабилизированных растительными экстрактами лимона и грейпфрута, существенно не сказывалось на их поведении в режиме сдвигового деформирования.

Реологические свойства исследованных композиций позволили сформовать из них пленки методом полива на полиэфирную подложку с последующей сушкой при 333 К.

Значения диаметров зон ингибирования, характеризующих АМА пленок на основе экстрактов, варьировались интервале от 7,67 мм до 8,67 мм и увеличивались при увеличении концентрации растительных компонентов.

ДФПГ-тест показал, что АОА пленок, содержащих эфирные масла, имеет значения в интервале от 3,0 % до 9,1 %. В то время как для пленок с растительными экстрактами способность улавливать ДФПГ радикал оказалась выше: 24,5 %, 24,8 %, 37,3 % и 44,9 % для пленок с экстрактом бузины, подорожника ланцетолистного, мелисы лекарственной и зверобоя соответственно. Увеличение концентрации растительной добавки в пленках путем использования экстрактов различных чаев в качестве растворителя позволило повысить АОА альгинатных пленок до 68,8 % и 70,8 % в случае пленок, содержащих экстракты имбирного чая с лимонграссом и шалфеем соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Choe, E. Mechanisms of Antioxidants in the Oxidation of Foods / E. Choe, D. B. Min // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2009. – Vol. 8, № 4. – P. 345–358.
2. Vaverková, M. Study of the biodegradability of degradable/biodegradable plastic material in a controlled composting environment / M. Vaverková, F. Toman, D. Adamcová, J. Kotovicová // Ecological Chemistry and Engineering. – 2012. – Vol. 19, №3. – P. 347–358.

3. Han, J. H. A Review of Food Packaging Technologies and Innovations / J. H. Han // Innovations in Food Packaging / J. H. Han. – Academic Press, 2014. – Ch. 1. – P. 3–12.

4. Савицкая, Т. А. Биоразлагаемые композиты на основе природных полисахаридов / Т.А. Савицкая // Полимерные материалы и технологии. – 2018. – С. 12–13.

5. Benbettaieb, N. Bioactive edible films for food applications: mechanisms of anti-microbial and antioxidant activities / N. Benbettaieb, F. Debeaufort, T. Karbowiak // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2018. – Vol. 21, № 59. – P. 3431–3455.

МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ MATERIALS USED IN THE DESIGN OF FUEL ELEMENTS

В. И. Красовский^{1,2}, А. А. Будько^{1,2}

V. I. Krasovsky^{1,2}, A. A. Budko^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kfm@iseu.by, budko.anzhelika@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

В данной работе рассматриваются конструкционные материалы, используемые для оболочек ТВЭЛ. Приведены основные требования к оболочкам ТВЭЛ и общая характеристика материалов.

This paper considers structural materials used for fuel element cladding. The basic requirements for fuel element cladding and the general characteristics of materials are given.

Ключевые слова: тепловыделяющие элементы, материал оболочки, физические свойства, коррозионная стойкость.

Keywords: fuel elements, shell material, physical properties, corrosion resistance.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-292-295>

Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) являются преимущественно энергонапряженными частями ядерного реактора. Находясь в прямом контакте с топливом и теплоносителем, ТВЭЛ испытывают постоянные механические, тепловые и радиационные нагрузки. После окончания эксплуатации ТВЭЛ, при условии отказа от переработки, хранятся в специальных хранилищах в течение длительного времени. Хотя условия хранения значительно мягче в сравнении с условиями эксплуатации, время данного процесса также может привести к нарушению герметичности вследствие процессов коррозионного разрушения. В связи с этим, стабильность ТВЭЛ и их материалов всегда остается основополагающей для недопущения аварийных ситуаций.

Оболочка ТВЭЛ работает в очень сложных условиях в течение длительного времени при высоких параметрах теплоносителя и больших тепловых нагрузках; оболочка должна удовлетворять многим требованиям, быть механически надежной и обеспечивать постоянство формы, размеров и герметичность ТВЭЛ при длительной эксплуатации реактора; иметь необходимые физические свойства (температуры плавления, термическое расширение, теплоемкость, аллотропические превращения); обладать необходимой теплопроводностью, иметь коррозионную стойкость в теплоносителе под напряжением; быть радиационно-стойкой и химически стойкой к топливу; иметь устойчивый химический состав и структуру при эксплуатации.

Механическая надежность подразумевает правильную оценку механических свойств материала оболочки [1]. Все конструкционные материалы подвергаются воздействию облучения. Это необходимо учитывать при конструировании ТВЭЛ. Нужно стремиться к тому, чтобы материал оболочки после облучения имел необходимую пластичность, позволяющую без разрушения выдерживать ощутимую деформацию, низкий модуль упругости и высокую теплопроводность, чтобы оболочка могла деформироваться без возникновения высоких напряжений в ней. При выборе материала оболочки необходимо учитывать температуру плавления и рекристаллизации. Температура плавления определяет уровень рабочих температур в реакторе и дает возможность предусматривать поведение ТВЭЛ в аварийных ситуациях (прекращение охлаждения ТВЭЛ). При выборе материала оболочки необходимо точно знать его сплавы.

В водо-водяных реакторах с температурой эксплуатации до 215 °С в качестве материала оболочек твэлов широкое распространение получили сравнительно недорогие алюминий и его сплавы, обладающие отличными технологическими свойствами, малым сечением захвата нейтронов, высокой теплопроводностью и неплохой коррозионной стойкостью в воде. Невысокие механические свойства алюминия и его сплавов не позволяют использовать их в воде при значительных температурах и давлениях. (Алюминий имеет плотность 2,7 г/см³, температуру плавления 660 °С, распространённость в земной коре 8,8%). Высокотемпературные механические свойства алюминия при длительных испытаниях повышаются легированием медью, магнием, марганцем и другими элементами. Такие сплавы после термообработки с дисперсионным отверждением обладают высокими длительными механическими свойствами. Под действием облучения границы прочности и текучести алюминиевых сплавов сильно повышаются, а пластичность практически не изменяется; следовательно, нейтронное поле как бы улучшает механические свойства алюминиевых сплавов. Низкая стоимость и хорошие технологические и ядерные свойства сплавов алюминия делают проблему их применения в энергетических реакторах с температурой до 300–350 °С менее острой.

По совокупности своих ядерных и технологических свойств цирконий является одним из лучших материалов оболочек твэлов, охлаждаемых водой, паром и пароводяной смесью до 300–350 °С. Цирконий имеет плотность 6,45 г/см³, температуру плавления 1852 °С, распространённость в земной коре 1,7 · 10⁻⁷ %. Устойчивость циркония к воздействию газов при комнатной температуре очень высока, но при высоких температурах он легко взаимодействует с кислородом, азотом, водородом другими газами. Чистый цирконий вследствие низких механических свойств при 350–500 °С и нестабильной коррозионной стойкости в воде при температуре 300–350 °С и паре до 400 °С не может быть использован для оболочек твэлов, поэтому понадобилось создание сплавов на его основе, обладающих необходимой прочностью и коррозионной стойкостью. Некоторые из сплавов – ниобийсодержащие сплавы и циркалои – широко применяются в промышленности. Они успешно используются в качестве оболочек твэлов и других конструктивных деталей тепловыделяющих сборок в энергетических ядерных реакторах с водой под давлением при температуре до 350 °С. К числу особенно важных легирующих элементов, используемых в сплавах циркония, относятся ниобий и олово. Оба элемента обладают относительно малым сечением захвата тепловых нейтронов; ниобий существенно повышает прочностные характеристики как при комнатной температуре, так и при 500 °С.

Аустенитные нержавеющие стали успешно применяются в качестве материала, твэлов. Плотность составляет 7,87 г/см³, температура плавления 1539 °С. Широко распространенные аустенитные хромоникелевые стали располагают важными преимуществами перед цирконием, алюминием и их сплавами: высокой жаропрочностью и жаростойкостью вплоть до 600 °С, хорошей коррозионной стойкостью в воде вплоть до критических параметров, хорошей свариваемостью. Стали этих марок успешно применяются в качестве оболочек дисперсионных твэлов в ядерных реакторах. Поведение аустенитных сталей под облучением характеризуется радиационным упрочнением, высокотемпературным охрупчиванием, уменьшением пластичности и ударной вязкости. Воздействие облучения на аустенитные стали при температурах выше 350 °С уменьшается из-за частичного отжига радиационных дефектов.

Из рассмотренных данных видно, что твэлы с оболочкой из аустенитных нержавеющих сталей более широко используются в реакторах с водой под давлением и кипящих реакторах, где они показали себя как достаточно надежные. Наибольшую опасность для них в этих условиях представляет охрупчивание стали. Опасность коррозионного растрескивания стальных оболочек твэлов может быть существенно уменьшена такими мерами, как выбор более стойких к растрескиванию сталей, технологическое снижение уровня растягивающих напряжений на оболочке; повышение чистоты теплоносителя по опасным примесям, например по хлор-иону и кислороду. Следует отметить, что при правильном выборе марки стали и технологии изготовления из нее оболочек, а также рациональном выборе конструкции твэла и режима эксплуатации, аустенитные нержавеющие стали являются надежным материалом для оболочек твэлов водоохлаждаемых реакторов.

Хорошие ядерные и физические характеристики: малое сечение захвата нейтронов, высокая способность замедлять и отражать нейтроны, низкая плотность, высокая прочность и теплопроводность, сравнительно высокая температура плавления, маленький коэффициент термического расширения – позволяют считать бериллий наиболее ценным материалом, в частности хорошим контактным материалом для дисперсионных твэлов. Бериллий имеет плотность 1,85 г/см³, температуру плавления 1275 °С, содержание в земной коре составляет 6 · 10⁻⁴ %. Однако наряду с положительными свойствами бериллий обладает значительными недостатками. Металл, редкий и дорогой, хрупкий и очень токсичный, имеет высокую химическую активность. Снизить хрупкость бериллия легированием трудно из-за небольших размеров его атомов. Это сводит к минимуму число элементов, способных образовать с ним твердые растворы. В настоящее время ведутся большие работы по созданию бериллиевых сплавов и разработке надежной технологии получения конструктивных изделий для твэлов и сборок из них.

Чистый от примесей титан из-за невысоких прочностных свойств не представляет особого интереса в качестве конструкционного материала. Титан имеет плотность 4,5 г/см³, температура плавления 1665 °С, содержание в земной коре составляет 0,57 %. Титан хорошо сплавляется со многими металлами. Высокая удельная прочность, жаропрочность, хорошая коррозионная стойкость, низкая упругость паров, хорошая свариваемость, практическое отсутствие хладноломкости – все это открывает большие перспективы использования конструктивных титановых сплавов во многих областях техники. Высокую прочность титановых сплавов можно обеспечить легированием, но сплавы, полученные таким путем, имеют низкую пластичность и вряд ли могут удовлетворить

требования, предъявляемые к материалу. Поэтому большой интерес представляют дисперсионно-твердеющие титановые сплавы, которые в отожженном или закаленном состоянии имеют неплохую пластичность, а после упрочняющей термообработки (закалки и старения) приобретают высокую прочность и жаростойкость. Таким способом можно обеспечить требуемую прочность и хорошую пластичность конструкционных титановых сплавов.

Тугоплавкие металлы «большой четверки» – ниобий, тантал, молибден и вольфрам – обладают хорошей стойкостью во многих жидкометаллических теплоносителях при температурах выше 1000 °С [2]. При использовании тугоплавких металлов, особенно ниобия и тантала, в реакторах с жидкометаллическими теплоносителями необходима хорошая очистка теплоносителя от кислорода, влаги, углерода и строгий отбор материалов первого контура. Стойкость ниобия, тантала, молибдена и вольфрама в кислородсодержащих средах (воздух, пары воды, углекислый газ) очень низкая. На этих металлах возникает неплотная отслаивающаяся пленка, а молибден к тому же образует летучие окислы. При испытаниях на воздухе уже при 500–600 °С эти металлы дают привес до десятков миллиграммов на 1 см² в час, что недопустимо при использовании их в реакторе. Для нахождения метода преодоления окисляемости этих металлов, исследования проводились с применением инертных газов в качестве теплоносителя, легирование металлов и создание защитных покрытий на них.

Основным препятствием при внедрении вольфрама и молибдена в ядерную технику наряду с окисляемостью и плохой свариваемостью является их хладноломкость, т.е. переход при определенных температурах из пластического состояния в хрупкое. В настоящее время предлагаются разные способы устранения хладноломкости, которые подразделяются на химические и физические. К химическим методам следует отнести очистку от примесей внедрения, проводимую на разных этапах технологического процесса получения чистых металлов. К физическим способам относятся деформация по схеме всестороннего неравномерного сжатия, создание оптимальной текстуры деформации; применение вибрации, ультразвука, очистки от растворенных газов пластической деформацией в вакууме, создание оптимальной структуры путем легирования.

Особое место среди тугоплавких металлов занимает ниобий. Ниобий имеет плотность 8,57 г/см³, температуру плавления 2500 °С, содержание в земной коре составляет $2 \cdot 10^{-3}$ %. Обладая высокой температурой плавления, хорошей обрабатываемости, сохранением прочности при высоких температурах, пластичностью и хорошими физическими свойствами ниобий ценен как конструкционный материал. Для оценки возможности применения нового материала при высоких температурах первоначально рассматривают его прочность и пластичность, обрабатываемость, сопротивление окислению, а также стоимость и запасы. Ниобий удовлетворяет всем условиям, помимо сопротивления окислению. Низкое сопротивление нелегированного ниобия окислению мешает его применению в средах, содержащих кислород. В результате исследований установлено, что сопротивление высокотемпературному окислению может быть существенным образом повышено легированием. Азот в небольших количествах является, по-видимому, наиболее эффективным упрочнителем ниобия. Кислород оказывает такое же влияние, но при более высоком содержании. Наименьшее влияние на твердость при низких температурах оказывает углерод при содержании не выше 0,05%.

Молибден помимо высокой жаропрочности обладает хорошей совместимостью со всеми используемыми в настоящее время жидкометаллическими теплоносителями при температурах 1000 °С и выше. Молибден имеет плотность 10,2 г/см³, температуру плавления 2620 °С, содержание в земной коре $1 \cdot 10^{-4}$ %. Серьезным препятствием для применения молибдена является его склонность к хрупкому разрушению при комнатной температуре. Прочность молибдена может быть значительно повышена легированием небольшим количеством углерода с последующим выделением мелких карбидных включений в процессе старения.

Отличным конструкционным материалом в ядерной технике является вольфрам. Вольфрам имеет плотность 19,25 г/см³, температуру плавления 3422 °С, содержание в земной коре составляет $1 \cdot 10^{-4}$ %. Материал обладает исключительной прочностью при высоких температурах. Трудность при разработке изделий из вольфрама связана с его недостаточной пластичностью при низких температурах, хотя есть надежда получить пластичный. Пластичность вольфрама была резко повышена глубокой очисткой его от углерода (до 0,001%) путем термоциклической обработки в среде, содержащей сотые доли процента кислорода. Многие сплавы вольфрама были изучены на стойкость к окислению. Большинство испытаний проводили на воздухе до 1093 °С, однако до сих пор не было сообщений о значительном улучшении стойкости к окислению бинарных сплавов. Было также изучено влияние на стойкость к окислению двойных добавок из элементов Nb, Co, Cr, Mo, Ta, Ti. Найдено, что перспективными добавками являются ниобий и тантал.

Искусственный графит основательно вошел в ядерную технику как конструкционный материал для оболочек и матриц ТВЭЛов и противоосколочных покрытий сферических частиц топлива в высокотемпературных газовых реакторах [3]. Плотность графита 2,25 г/см³, температура плавления 3845 °С, содержание в земной коре $2,3 \cdot 10^{-2}$ %. Из графита выполнены отдельные детали тепловыделяющих сборок реакторов. Графит в виде монокристалла обладает большой анизотропией свойств, которая обусловлена его гексагональной слоистой структурой. Характеристики реакторного графита следующие: общая пористость, доля открытых пор, их распределение и размеры. Характер пористости во многом зависит от исходных материалов и способа изготовления. С помощью технологических приемов можно изменить многие свойства графита для получения изделий с требуемыми характеристиками; удастся изготовить графит, почти нечувствительный к радиационному росту при низких температурах.

В настоящее время ведутся широкие исследования материалов на основе указанных элементов с целью изучения их физико-химических, коррозионных и радиационных свойств в различных средах, в широком интервале

температур, в напряженном состоянии, что вселяет надежду в то, что будут получены ещё более безопасные, надёжные и экономически целесообразные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпаков Г.Н., Селиваникова О.В. Конструкции твэлов, каналов и активных зон энергетических реакторов: учебное пособие. Т., Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 118 с.
2. Ягодин Г. А., Синегрибова О. А., Чекмарев А. М. Технология редких металлов в атомной технике. Учебное пособие для вузов. М., Атомиздат, 1974. – 344 с.
3. Григорьева В. А., Зорина В. М. Тепловые атомные электрические станции: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

ВНЕДРЕНИЕ ПРИНЦИПОВ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ “ЗЕЛЁНОЙ” ЭКОНОМИКИ В БЕЛАРУСИ

IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES AND ANALYSIS OF THE MAIN DIRECTIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE “GREEN” ECONOMY CONCEPT IN BELARUS

К. М. Мукина^{1,2}, Н. С. Смашный^{1,2}

K. M. Mukina^{1,2}, N. S. Smashny^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kem@iseu.by, smashnyy02@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматривается развитие Республики Беларусь по пути «зеленой» экономики - модели экономического развития, основанной на устойчивом развитии и знании экономики окружающей среды, требующего большого количества реформ в различных сферах жизни государства, основной из которых является экономика. Проведен анализ созданной концепция “зелёной” экономики, внедрения и развития её принципов на территории Республики Беларусь и выполнения плана действий по развитию “зелёной” экономики до 2020 года, и следующего плана до 2025 года, а также документации, которая затрагивает вышеперечисленные документы.

The article discusses the development of the Republic of Belarus along the path of a «green» economy – a model of economic development based on sustainable development and knowledge of environmental economics, which requires a large number of reforms in various spheres of the life of the state, the main of which is the economy. An analysis was made of the created concept of the “green” economy, the implementation and development of its principles in the territory of the Republic of Belarus and the implementation of the action plan for the development of the “green” economy until 2020, and the next plan until 2025, as well as documentation that affects the above documents.

Ключевые слова: устойчивое развитие, “зелёная” экономика, программный подход, энергосбережение, эмиссия парниковых газов, раздельный сбор отходов, экономия воды, развитие экологической инфраструктуры.

Keywords: sustainable development, «green» economy, programmatic approach, energy saving, greenhouse gas emissions, separate waste collection, water saving, development of ecological infrastructure.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-295-298>

Принципы “зелёной” экономики за последние годы стали основополагающими в развитии экономики многих стран. Тенденция перехода от ведения традиционной экономики к современной и устойчивой заметна во многих странах. Это не только даёт новые пути развития во многих отраслях ведения хозяйства, но и уменьшает влияние человека на окружающую среду.

Концепция “зелёной” экономики – это модель, которая ведет к улучшению здоровья и социальной справедливости населения, а также к значительному снижению опасных воздействий на окружающую среду и к снижению

экологического дефицита. “Зелёная” экономика – низкоуглеродная, ресурсосберегающая и социально инклюзивная модель экономики.

В рамках Конференции Рио+20 государства согласились создать концепцию «зеленой» экономики как важный инструмент устойчивого развития.

Концепция “зелёной” экономики не заменяет концепцию устойчивого развития, но широко признано то, что достижение устойчивости почти полностью основывается на получении экономического права.

Анализ основных мировых и национальных тенденций развития “зелёной” экономики показал, что Программа Организации объединённых наций по охране окружающей среды (UNEP) [1] определяет “зелёную” экономику как инструмент, приводящий к повышению благосостояния людей и социального равенства, и значительно снижающий неблагоприятное воздействие на окружающую среду и риски экологической деградации.

Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) [2] разработала и ввела концепцию “зелёного роста”, определив её как максимальное обеспечение экономического роста и развития, не оказывая воздействия на количество и качество природных активов и используя потенциал роста, который возникает при переходе к “зелёной” экономике. Попростому, “зелёный рост” – это рост ВВП, который подчиняется “зелёным” условиям и делает упор на “зелёные” секторы экономики как на новые двигатели роста.

Основными принципами “зелёной” экономики UNEP являются:

1. Справедливость и объективность, в одном поколении и между разными поколениями;
2. Согласованность с принципами устойчивого развития;
3. Превентивный подход к социальным воздействиям и воздействиям на окружающую среду;
4. Оценка природного и социального капитала, к примеру, интернационализация внешних расходов, зелёный учёт, расходов на протяжении всего срока эксплуатации и совершенствования управления;
5. Устойчивое и эффективное использование ресурсов, потребление и производство;
6. Потребность в достижении существующих макроэкономических целей посредством создания “зелёных” рабочих мест, искоренения нищеты, повышения конкурентоспособности и роста в ключевых секторах.

Приверженность Республики Беларусь принципам “зеленой” экономики закреплена в общегосударственных программных документах, включая Национальную стратегию устойчивого социально-экономического развития до 2030 года (Далее – Национальная стратегия) [3], одобренную на заседании Президиума Совета Министров Республики Беларусь (протокол от 10 февраля 2015 г. № 3).

В Национальной стратегии можно выделить два этапа:

1. Основной целью первого этапа, который приходится на 2016–2020 гг., является переход к качественному сбалансированному росту экономики путем ее структурноинституциональной трансформации с учетом реализации принципов “зеленой” экономики, приоритетного развития высокотехнологичных производств, которые станут основой для повышения конкурентоспособности страны и качества жизни населения.
2. Основная цель второго этапа (2021–2030 годы) – переход к стабильной устойчивости развития и достижение высокого качества человеческого потенциала на основе дальнейшего становления “зеленой” экономики, ускоренного совершенствования высокотехнологичных производств.

Основополагающие принципы экономики и бережливости, соответствующие принципам “зеленой” экономики, закреплены в Директиве Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 “О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства”.

В целях выполнения международных обязательств по переходу к “зелёной” экономике, сформулированных в Декларации Седьмой конференции министров “Окружающая среда для Европы” и ее итоговом документе “Рио+20”, реализуется система мер по укреплению технологического потенциала национальной экономики.

В 2015 году Республика Беларусь на 70-й сессии Генеральной Ассамблеи Организации Объединённых Наций взяла обязательства по реализации целей устойчивого развития. В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 20 сентября 2016 г. № 345 “О принятии международного договора” Беларусь стала стороной Парижского соглашения, принятого на 21-й сессии Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата в городе Париже 12 декабря 2015 года, подписанного 22 апреля 2016 года.

С помощью вышеперечисленных документов можно определить национальные тенденции в развитии “зелёной” экономики и пути реализации этого развития в нашем государстве.

Принципами «зеленой» экономики для Беларуси являются :

1. Дальнейшее развитие природоохранного законодательства и применение наиболее успешных практик в вопросах управления воздухом, водой, почвами и обращения с отходами.
2. Расширение сектора органического сельского хозяйства, введение сертификатов на органическую продукцию в стране и увеличение импорта органической продукции.
3. Продвижение решений по эко-инновациям, основанным на высоком исследовательском потенциале Республики Беларусь.
4. Использование законодательных и экономических инструментов для смягчения последствий изменения климата и поддержки мер по адаптации.
5. Введение мероприятий по энергоэффективности в городах Республики Беларусь.
6. Привлечение прямых иностранных инвестиций и создание «зеленых» рабочих мест.

С учетом социально-экономических условий, перспектив, целесообразности и международных обязательств выделены в Национальном плане следующие приоритетные направления развития "зеленой" экономики в Республике Беларусь:

- внедрение принципов устойчивого потребления и производства;
- развитие экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики);
- развитие органического сельского хозяйства;
- развитие экологического туризма (устойчивого туризма);
- формирование «умных» и энергоэффективных, «зеленых» городов;
- развитие низкоуглеродной энергетики;
- развитие электротранспорта (инфраструктуры) и городской мобильности;
- смягчение последствий изменения климата и адаптация к климатическим изменениям;
- сохранение и устойчивое использование биологического и ландшафтного разнообразия;
- развитие сферы «зеленого» финансирования;
- проведение информационных, образовательных мероприятий;
- научное обеспечение перехода к «зеленой» экономике.

Особое внимание должно уделяться разработке отраслевых и региональных стратегий развития, позволяющих учитывать как отраслевые особенности, так и социально-экономическое состояние территории, а также потребности населения, в том числе и наиболее социально уязвимых групп.

Из всего сказанного выше следует, что мировое сообщество, обеспокоенное экологической ситуацией на планете, главами государств подписали документы, которые позволили начать структурированное и планомерное развитие экономики в сторону её большей экологичности. Если рассматривать ситуацию в Беларуси, то наряду с подписанием международных соглашений составлен документ для развития зелёной экономики – Национальный план действий по развитию «зелёной» экономики в Республике Беларусь (Далее – Национальный план) [4]. Для целей Национального плана было принято своё определение «зелёной» экономики: «зелёная» экономика – модель организации экономики, направленная на достижение целей социально-экономического развития при существенном сокращении экологических рисков и темпов деградации окружающей среды. Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2020 года был утверждён постановлением Совета Министров №1061 21 декабря 2016 года [4]. Национальным планом определены критерии, на основе которых будет осуществляться оценка соответствия экономической деятельности принципам «зелёной» экономики до 2020 года.

Успешная реализация планов, которые были поставлены Национальным планом действий по развитию «зелёной» экономики 2016–2020 гг., не только показали возможность внедрения данных принципов в стране, но и положили создание нового Национального плана на 2021–2025 годы.

При анализе Национального плана действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2020 [4] года были рассмотрены мероприятия, которые должны быть разработаны, и изменения в некоторые законы республики, новые правовые акты и методики ведения деятельности в различных сферах экономики страны. Также были использованы показатели для осуществления оценки соответствия экономической деятельности принципам зелёной экономики в разных сферах экономической деятельности.

В мероприятиях, которые должны быть выполнены для развития в зелёной экономике по таким направлениям как:

1. Институциональная деятельность;
2. Устойчивое потребление и производство;
3. Энергетика;
4. Энергоэффективное строительство;
5. Развитие электротранспорта (инфраструктуры) и городской мобильности, внедрение концепции «умных» городов;
5. Органическое сельское хозяйство;
6. Экологический туризм;
7. Информационные, образовательные мероприятия.

Приоритетными направлениями развития «зеленой» экономики дополненные новыми принципами по сравнению со старым Национальным планом являются:

- внедрение принципов устойчивого потребления и производства;
- развитие экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики);
- развитие органического сельского хозяйства;
- развитие экологического туризма (устойчивого туризма);
- формирование «умных» и энергоэффективных, «зеленых» городов;
- развитие низкоуглеродной энергетики;
- развитие электротранспорта (инфраструктуры) и городской мобильности;
- смягчение последствий изменения климата и адаптация к климатическим изменениям;
- сохранение и устойчивое использование биологического и ландшафтного разнообразия;
- развитие сферы «зеленого» финансирования;

- проведение информационных, образовательных мероприятий;
- научное обеспечение перехода к «зеленой» экономике.

Приверженность Республики Беларусь принципам «зеленой» экономики закреплена в общегосударственных программных документах, включая Национальную стратегию устойчивого социально-экономического развития до 2030 года [3].

Основные подходы к формированию целей и действий в реализации приоритетных направлений развития «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2025 г. должны основываться на основных принципах и элементах систем экологического менеджмента, которые должны активно внедряться и эффективно функционировать на всех предприятиях экономики Республики Беларусь, оказывающих воздействие на окружающую среду придерживаясь стратегии соответствия законодательным требованиям.

При реализации принципов «зеленого» развития и обеспечения экологической безопасности производства осуществляется посредством экологизации экономики, то есть интеграция социо-эколого-экономических процессов, основанных на принятии взаимосвязанных экономических, технико-технологических, политических и социальных решений, способствующих эффективному достижению экологических целей и задач в любой эколого-экономической системе.

Предприятия, развивающие свою деятельность в природоохранной сфере, придерживаются стратегий «активного экологического менеджмента» и «устойчивого развития», следование которым предполагает постепенное приближение ресурсных циклов к замкнутым круговоротам веществ в природе. Они соблюдают внешние нормативы и требования законодательства Республики Беларусь, международные нормы и стандарты серии ISO 9000 и 14000 и др.; внутренние более жесткие нормы и стандарты [5].

Активное участие промышленности республики в инновационном процессе в области системного менеджмента способствует устойчивому развитию «озеленения» как отдельно взятого предприятия, так и экономики страны в целом. Задача, которую предполагается решить также с помощью стандарта ISO 14000, состоит в обеспечении организаций элементами эффективной системы управления окружающей средой, которые в комплексе с другими элементами административного управления будут способствовать достижению целей «зеленой» экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ООН программа по окружающей среде [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.unep.org>.
2. OECD BETTER POLICIES FOR BETTER LIVES [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.oecd.org>.
3. Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами до 2035 года – Минск, 2017.
4. Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2020. – Минск, 2016.
5. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития до 2030 года – Минск, 2017.

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF A CIRCULAR ECONOMY

Г. Н. Ярыгина
H. Yaryhina

*Полоцкий государственный университет, Беларусь, Витебская обл., г. Новополоцк,
Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus,
g.yarygina@psu.by*

В данной статье анализируются производственные отходы Республики Беларусь образованные за период с 2015 по 2020 года через принципы и показатели циркулярной экономики. Какая прослеживается динамика положительная либо отрицательная для развития циркулярной экономики в Республике Беларусь на данном этапе и каким образом измерять «циркулярный» эффект от внедрения аспектов циркулярной экономики в промышленности.

This article analyzes the industrial waste of the Republic of Belarus formed over the period from 2015 to 2020 through the principles and indicators of the circular economy. What are the positive or negative dynamics for the development of the circular economy in the Republic of Belarus at this stage and how to measure the «circular» effect of the introduction of aspects of the circular economy in industry.

Ключевые слова: индикаторы, мониторинг, циркулярная экономика, отходы.

Keywords: indicators, monitoring, circular economy, waste.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-298-301>

Предпосылки для формирования концепции циркулярной экономики были заложены более 250 лет назад. Понятия и вопросы кругооборота в экономике, дефицита, темпы роста, потребительское злоупотребление, призыв к обмену, ограниченность ресурсов, теория ценности, сохранение окружающей среды и т.п. – рассматривали многие экономисты, чьи концепции оставили глубокий след в истории экономических идей и учений, которые сопровождали становление экономической науки на протяжении многих десятилетий.

Циркулярная экономика развивается во всем мире, как источник новых инноваций и несет в себе экономические, социальные и экологические выгоды: улучшение состояния окружающей среды (контроль за вредными выбросами и загрязнением); рациональное и эффективное использование ресурсов (более замкнутый материальный цикл с минимальным образованием отходов, в котором отход превращается в новый ресурс); новые знания и навыки (осведомленность людей о положительном воздействии циркулярной экономики); спрос создает предложение устойчивых (циркулярных) товаров и услуг, а это означает ответственность производителя за свои товары и услуги; занятость (создание новых рабочих мест); увеличение конкурентоспособности предприятий на рынках сбыта (использование первичного сырья сводится к минимуму, увеличение жизненного цикла и возможность повторного использования первичных материалов [1].

Для отслеживания и измерения прогресса развития, а также возможностей для ускорения перехода к модели циркулярной экономики, необходимо разработать адекватную систему индикаторов. Для циркулярной модели экономики необходимо рассчитывать индикаторы ресурсоемкости и материалоемкости различных отраслей и их веса в валовом продукте, а это в свою очередь позволит увеличить эффективность использования ресурсов и соответственно приведет к сокращению потерь первичного сырья, при этом сократится вредное воздействие на окружающую среду с уменьшением образования отходов. Расчет этих показателей позволит проводить анализ с аналогичными показателями других стран.

В Пакете циркулярной экономики, разработанной Европейской комиссией также отмечается необходимость в индикаторах: «Для оценки прогресса на пути к более замкнутой экономике и эффективности действий на уровне ЕС и на национальном уровне важно иметь набор надежных показателей» [2]. На данный момент многие исследователи утверждают, а их исследования наглядно показывают, что индикаторы по оценке циркулярной экономики, которые могли бы реально измерить «циркулярность» экономики все еще отсутствуют.

Китай один из первых включил в основу своей политики на 2006–2010 годы циркулярную экономику. Система индикаторов в Китае включает 22 показателя по четырем категориям и отличается от Европейских индикаторов тем, что включает потребление энергии и воды, а также выбросы загрязняющих веществ. Китайская система показателей на макроуровне распространяется на города и регионы, а в Европе показатели на уровне города отсутствуют. Набор показателей в Китае отличается еще и тем, что такие показатели, как конкурентоспособность и инновации отсутствуют, а в Европейских показателях есть. Эти различия свидетельствуют о том, как концепция циркулярной экономики развивается и адаптируется в разных странах.

Существуют международные консалтинговые компании, которые разрабатывают методики:

- сертификации циркулярных продуктов Cradle to Cradle, которая определяет уровень циркулярности товаров, подтверждая их безопасность и соответствие ответственному производству;
- оценки циркулярности компаний Circular Transition Indicators, которая может помочь предприятиям различных отраслей, в любой стране измерить и улучшить свою циркулярную эффективность при помощи анализа индикаторов циркулярной трансформации с использованием программного обеспечения на основании необходимых данных для расчета индикаторов;
- циркулярности продуктов MCI позволяет отслеживать уровень циркулярности сырья, материалов и насколько восстанавливаются материальные потоки;
- разработка дорожных карт циркулярной трансформации бизнеса CIRCelligence, которая позволяет оценить циркулярность входящих потоков сырья и материалов продукции, дизайн и весь жизненный цикл продукта с использованием качественных и количественных показателей.

Существенный вклад в ВВП Республики Беларусь вносит промышленность. Число организаций промышленности на конец 2020 года составляло 16188. Беларусь привержена осуществлению Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года и исходит из того, что Цели устойчивого развития (далее – ЦУР) «могут быть достигнуты на основе скоординированных действий всех национальных партнеров в экономической, социальной и природоохранной сферах в условиях политической стабильности и поступательного экономического роста» [3].

Отдельные показатели ЦУР представлены в таблице 1. Анализ динамики объема образования отходов на единицу ВВП позволяет оценить материалоемкость структуры производства [4], экологической и ресурсной эффективности экономики характеризуют экологическую и ресурсную эффективность производства и потребления и помогают отслеживать тенденции, связанные с устранением зависимости между потреблением ресурсов и экономическим ростом. Коэффициент регенерации отходов – отношение объема отходов, использованных для производства продукции, энергии, выполнения работ, оказания услуг, к объему образовавшихся отходов производства [5].

Согласно данным, представленным в таблице 1.1, в Беларуси количество образованных отходов производства с каждым годом растет. За период с 2015 г. по 2020 г. их количество увеличилось в 1,9 раз и составило 243,8 тысяч тонн в 2020 году. Показатель использованных отходов не высок, а показатель безвреженных отходов снизился в 1,2 раза. Если опираться на принципы циркулярной экономики, то прослеживается тенденция роста образования отходов на макро-уровне по отношению к ВВП. С 2015 г. удельный показатель общего образования

отходов производства в расчете на единицу ВВП снизился на 0,13 кг/руб, т. е. на макро- уровне наблюдаются шаги (тенденция) к «декаплингу», а это означает, что потребление природных ресурсов и производства загрязнений снижаются по отношению к ВВП. Все это благоприятно для развития циркулярной экономики.

Таблица 1 – Экологическая и ресурсная эффективность экономики

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Образование отходов производства 1–3 классов опасности на душу населения, тыс. тонн в целом по стране	127,7	171,8	176,3	233,0	219,3	243,8
Доля использованных отходов производства 1–3 классов опасности в общем объеме образовавшихся отходов производства 1–3 классов опасности, в целом по стране	73,7	73,9	62,8	92,8	72,9	77,0
Доля обезвреженных отходов производства 1–3 классов опасности в общем объеме образовавшихся отходов производства 1–3 классов опасности в целом по стране	2,0	2,1	3,0	1,3	1,5	0,8
Доля захороненных отходов производства 1–3 классов опасности в общем объеме образовавшихся отходов производства 1–3 классов опасности в целом по стране	8,2	7,1	6,6	5,6	8,6	5,9
Доля направленных на хранение отходов производства 1–3 классов опасности в общем объеме образовавшихся отходов производства 1–3 классов опасности в целом по стране	45,1	33,9	31,4	21,9	21,1	21,1
ВВП в текущих ценах, рассчитанный производственным методом, млн руб.	899098,1	94,95	105,75	122,32	134,73	147,01
Интенсивность образования отходов производства на единицу ВВП, кг/руб.	0,55	0,52	0,52	0,50	0,45	0,42
Коэффициент регенерации отходов производства, k	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4

Источник: составлено автором на основании: [5].

Объем совокупных расходов на охрану окружающей среды в период с 2015 г. по 2016 гг. (таблица 2) резко снизился, с 2016 г. по 2017 увеличился, в 2018 году снова снизился, а в период с 2019 по 2020 гг. мы наблюдаем увеличение расходов, но в 2020 гг. объем расходов значительно ниже, чем в 2015 году. Из них инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в 2020 году составляют 204,5, а в 2015 гг. 2158,7. Удельный вес объема совокупных расходов на охрану окружающей среды в объеме ВВП за период с 2015 по 2020 гг. снизился на 0,3 %. Что касается экологического налога, то он с каждым годом увеличивается и за период с 2015г по 2020 г. увеличился на 0,1 % по отношению к ВВП, а в процентах к общей сумме налоговых доходов в период с 2015 г. по 2020 г. увеличился на 0,2 %. Таким образом, это говорит о том, что природоохранные мероприятия финансируются в недостаточном объеме. Небольшие затраты на природоохранные мероприятия могут привести к ухудшению состояния окружающей среды и соответственно к ущербу самой же экономике от экологических нарушений. Недостаточное финансирование мероприятий на охрану окружающей среды требует от государства ввода дополнительных механизмов для регулирования платы за негативное воздействие предприятиями на окружающую среду, а также мер для стимулирования предприятий по внедрению новых экологически чистых технологий.

Таблица 2 – Объем расходов на охрану окружающей среды в Беларуси

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Объем совокупных расходов на охрану окружающей среды, млн. руб.	8 877,1 Млрд.	1012,2	1047,3	820,4	920,0	1 015,5
из них инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, млн. руб.	2 158,7	290,8	251,6	112,6	157,3	204,5
Удельный вес объема совокупных расходов на охрану окружающей среды в объеме валового внутреннего продукта, процентов	1,0	1,1	1,0	0,7	0,7	0,7
Экологический налог), млн. руб.	1 291,6	137,6	172,6	193,7	215,4	266,2
в процентах к ВВП	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
в процентах к общей сумме налоговых доходов)	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8

Источник: составлено автором на основании: [5].

В Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года целью в области эффективного и безопасного обращения с отходами является переход к рациональным моделям производства и потребления, а также внедрение принципов циркулярной экономики. Одним из ключевых инструментов реализации данной задачи является трансформация системы мониторинга обращения с отходами,

направленная на повышение достоверности собираемых статистических сведений, их оперативности и доступности [6].

Результат исследования различных научных работ показывает, что существует много инструментов и индикаторов для оценки циркулярной экономики, в которых отражены различные взгляды на исследуемую проблему.

Белорусская экономика отличается от Европейской и Китайской и соответственно индикаторы циркулярной экономики должны быть разработаны с учетом специфики нашей страны. Индикаторы должны быть просты и понятны для применения в промышленности, как крупными компаниями, так и микроорганизациями, для оценки уровня «циркулярности», возможности выявления проблем и увеличения конкурентоспособности отрасли.

Таким образом, в Беларуси прослеживаются благоприятные условия для внедрения принципов циркулярной экономики: внедрение новых технологий, изменения в законодательстве в области обращения с отходами, направленные на экологизацию промышленности. Следовательно, для эффективного мониторинга циркулярной экономики необходимы общесистемные подходы, которые позволят проследить эффекты от внедрения стратегии циркулярной экономики, а для этого необходимо разработать набор ключевых показателей, которые бы отражали экологические, экономические и социальные аспекты циркулярной экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярыгина Г.Н. Устойчивое развитие лесного комплекса в условиях циркулярной экономики (на примере Республики Беларусь и Российской Федерации) / Г.Н. Ярыгина, И.И. Шанин // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2021 : environmental problems of the XXI century : материалы 21-й международной научной конференции, 20–21 мая 2021 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – Ч. 2. – 440 с.

2. Report of the European Academies' Science Advisory Council November 2016, Indicators for a circular economy. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://easac.eu/publications/details/circular-economy-indicators-and-priorities-for-critical-materials/> Дата доступа: 01.12.2021.

3. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf>. Дата доступа: 01.12.2021.

4. Национальный доклад Республики Беларусь об осуществлении повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/16357Belarus.pdf>. Дата доступа: 01.12.2021.

5. Национальный статистический комитет Республики Беларусь / Индикаторы совместной системы экологической информации / Образование отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-1-obrazovanie-othodov/>. Дата доступа: 01.12.2021.

6. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf>. Дата доступа: 01.12.2021.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ КАК ОСНОВА ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ СВОЙСТВАХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ И СПОСОБАХ БЕЗОПАСНОГО ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

INFORMATION DATABASE AS A BASIS FOR INFORMING THE POPULATION ABOUT THE PROPERTIES OF CHEMICAL PRODUCTS HAZARDOUS TO HEALTH AND WAYS OF ITS SAFE USE

Н. Н. Табелева, И. И. Ильюкова, Т. Н. Гомолко, С. Ю. Петрова, С. Н. Камлюк
N. Tabeleva, I. Ilyukova, T. Gomolko, S. Petrova, S. Kamliuk

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
Минск, Республика Беларусь
ecoltox@rspch.by*

*Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene»,
Minsk, Republic of Belarus*

Централизованная система государственной регистрации потенциально токсичных (опасных) химических и биологических веществ является обязательным компонентом деятельности по охране здоровья человека в большинстве промышленно развитых стран. Одной из основных форм деятельности в области охраны

природы и здоровья человека от действия вредных веществ является получение исчерпывающей информации о вредных и опасных веществах. Создание информационной базы, содержащей сведения об опасных свойствах для здоровья населения химической продукции, имеющей обращение на территории Республики Беларусь и как обязательный ее элемент, классификацию и маркировку в соответствии с Согласованной на глобальном уровне системой классификации опасности и маркировки химической продукции необходимы для унификации подходов экспертов при создании системы управления риском, обусловленного обращением химической продукции, а также обеспечения химической безопасности населения.

The centralized system of state registration of potentially toxic (hazardous) chemical and biological substances is a mandatory component of human health protection in most industrialized countries. One of the main forms of activity in the field of nature protecting and human health from the action of harmful substances is obtaining comprehensive information about harmful and dangerous substances. The creation of an information base containing information about the hazardous properties for public health of chemical products in circulation on the territory of the Republic of Belarus, and as its obligatory element, classification and labeling in accordance with the Globally Harmonized System of Hazard Classification and Labeling of Chemical Products is necessary to unify the approaches of experts in creating a risk management system due to the circulation of chemical products, as well as ensuring the chemical safety of the population.

Ключевые слова: информационная база данных, химическая продукция, опасные свойства, система классификации и маркировки.

Keywords: information database, chemical products, hazardous properties, classification and labeling system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-301-304>

Для безопасного обращения химической продукции на всех его этапах, начиная от производства и заканчивая ее утилизацией, необходима идентификация всех опасностей, присущих данному виду продукции. Если опасность своевременно не обнаружена, то не могут быть приняты необходимые меры защиты от нее. Государство должно обеспечить высокий уровень защиты населения и окружающей среды, в особенности лиц, которые вступают в контакт с опасными для здоровья химическими веществами и их смесями в ходе их работы или бытовой деятельности.

Зарубежные организации в течение многих лет разрабатывали законы и правила, в которых предусмотрена необходимость предоставления информации в виде маркировки опасных свойств для лица, использующих химическую продукцию. Информация, которая предоставляется, позволяет идентифицировать химическую продукцию, определять сопряженную с ее применением опасность и дает возможность принять соответствующие меры защиты в соответствии с условиями ее использования.

Несмотря на то, что действующие в различных странах законы и правила по идентификации опасностей во многом схожи, в настоящее время имеются и существенные различия. В связи с различием в определении видов опасностей в различных странах маркировка одного и того же химического вещества существенно отличается. Отсутствие четкой, доступной, своевременной и надлежащей информации, необходимой для рационального регулирования химических веществ в целях сведения к минимуму их негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду, признано многими странами Европейского союза и других регионов.

С учетом широких масштабов международной торговли химической продукцией необходима разработка национальных подходов к идентификации, классификации опасности и маркировке химической продукции. Разные страны предъявляют различные требования при идентификации опасностей, а также к информации, которая должна содержаться в составе маркировки и в паспортах безопасности. Для унификации подходов в идентификации опасностей химических веществ под эгидой ООН была утверждена Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции (СГС).

В соответствии с СГС опасности, которыми обладает химическая продукция, подразделяются на три вида: физические опасности, опасности для здоровья человека и опасности для окружающей среды.

Целью выполнения работы было на основании изучения информации, представленной в базах данных и научных исследованиях, идентифицировать опасные свойства химической продукции, представляющей наибольшую опасность для здоровья человека и имеющей обращение на территории Республики Беларусь.

При изучении компонентного состава различных видов химической продукции, имеющей обращение на территории Республики Беларусь, и наиболее часто употребляемой в быту и на производстве: средств бытовой химии (СБХ), промышленных химикатов (включая химические вещества с особыми характеристиками, нефть и продукты переработки нефти); средств защиты растений (СЗР); удобрений и агрохимикатов; дезинфицирующих средств (Дезсредства); лакокрасочных материалов (ЛКМ) установлено, что все они в составе содержат вещества, которые идентифицированы как опасные для здоровья человека. Основными критериями, позволяющими идентифицировать их как опасные, являются следующие:

- способность вызывать общетоксическое действие при различных путях поступления: перорально, через кожу, при вдыхании (ингаляционно);
- способность вызывать разъедание/раздражение кожи;
- способность вызывать серьезное повреждение/раздражение глаз;

- способность вызывать респираторную или кожную сенсibilизацию;
- способность оказывать канцерогенное действие;
- способность оказывать мутагенное действие;
- способность влиять на репродуктивную функцию;
- способность обладать специфической избирательной токсичностью, поражающей отдельные органы-мишени при однократном воздействии;
- способность обладать специфической избирательной токсичностью, поражающей отдельные органы-мишени при многократном воздействии.

Результаты идентификации химической продукции по обнаруженным опасным свойствам для здоровья человека в соответствии Согласованной на глобальном уровне системой классификации маркировки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Опасные свойства химической продукции, обращающейся на территории Республики Беларусь и представляющей наибольшую опасность для здоровья человека

Опасные свойства	СЗР	СБХ	ЛКМ	Дезсредства
Острая токсичность при пероральном пути поступления, %	32	35	20	20
Острая токсичность при кожном пути поступления, %	8	20	15	15
Острая токсичность при ингаляционном пути поступления, %	60	30	20	20
Раздражающие свойства на кожу, глаза и дыхательные пути, %	28	70	50	60
Сенсибилизирующие свойства, %	26	25	40	25
Отдаленные эффекты: канцерогенность, мутагенность, репродуктивная токсичность, влияние на органы-мишени, %	16	36	25	20

Установлено, что опасные вещества, входящие в состав изученных видов химической продукции (средств бытовой химии, лакокрасочных материалов, дезинфицирующих средств), одновременно могут обладать несколькими видами опасностей для здоровья человека.

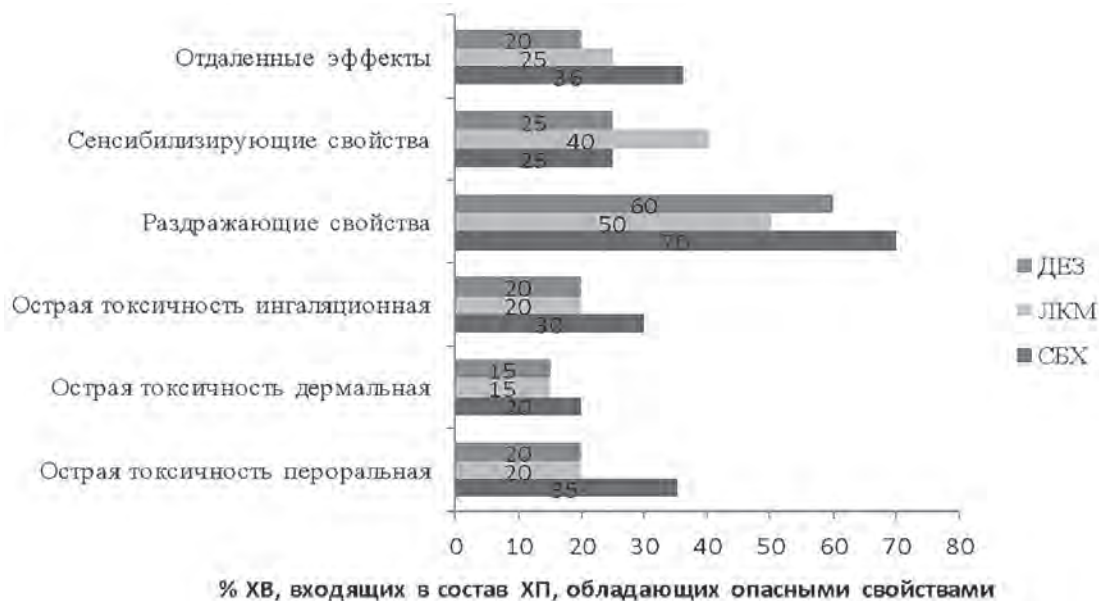


Рисунок 1 – Виды опасностей химических веществ, входящих в состав химической продукции

При проведении гигиенической оценки безопасности химической продукции рассматриваются ее потенциально опасные свойства, связанные с физико-химическими характеристиками химического вещества, способностью к устойчивой циркуляции в объектах среды обитания и биоаккумуляции, способностью наносить ущерб здоровью человека и окружающей среде.

Создание и использование национальной базы данных, включающей перечни опасной химической продукции, имеющей обращение на территории Республики Беларусь, их классификацию и маркировку, перечни рекомендуемой к запрещению и ограничению использования химической продукции позволит быстро и своевременно находить сведения об опасных свойствах для здоровья химической продукции с улучшения информированности населения, выполнения требования технического регламента ЕАЭС 041/2017 «О безопасности химической продукции» в части оценки риска здоровью при подготовке отчета о химической безопасности при допуске химических веществ/продукции на рынок Республики Беларусь, унифицировать подходы при проведении оценки потенциального риска здоровью, обусловленного обращением химической продукции, усилить эффективность контроля за гигиенической безопасностью химической продукции.

На основе анализа полученных данных, а также сведений, полученных от предприятий химического комплекса Республики Беларусь; сведений международных баз данных, как источников информации для идентификации опасных свойств химической продукции, сформирована и официально зарегистрирована национальная база данных «Информационная база данных, содержащая сведения об опасных свойствах для здоровья населения химической продукции, имеющей обращение на территории Республики Беларусь». В нее включены 137 опасных химических веществ, входящих в состав 5 видов химической продукции: промышленные химикаты – 93 вещества, лакокрасочные материалы – 12, дезинфицирующие средства – 8, средства защиты растений – 12, средства бытовой химии – 18.

Все вещества, приведенные в разработанной информационной базе данных, классифицированы по опасным для здоровья свойствам в соответствии с СГС. В составе маркировки приведены символ опасности (пиктограмма) в зависимости от вида и класса опасности вещества; сигнальное слово – слово, используемое для акцентирования внимания на степени опасности химической продукции; краткая характеристика опасности (H-фразы) – набор стандартных фраз, позволяющих установить степень опасности химической продукции; меры по предупреждению опасности (P-фразы) – набор стандартных фраз, позволяющих установить меры предосторожности и меры защиты от опасности химической продукции, включая меры первой помощи и средства защиты.

Для нормируемых в Республике Беларусь веществ приведены гигиенические нормативы в объектах среды обитания.

В информационной базе данных содержится перечень нормативных документов и базовых источников информации по каждому химическому веществу.

Информационная база данных является инструментом для усиления контроля за гигиенической безопасностью химической продукции и повышения информированности населения об опасных для здоровья свойствах химической продукции.

Разработанные перечни химических веществ и информация об опасных свойствах химической продукции, имеющей обращение на территории Республики Беларусь, будут положены в основу формирования национальной части Реестра химических веществ и смесей Евразийского экономического союза, во исполнение требований технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности химической продукции» (ТР ЕАЭС 041/2017), утвержденного Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 3 марта 2017 года № 19.

ЛИТЕРАТУРА

1. Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции [Электронный ресурс]. – 6-е пересмотр. изд. / Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк - Женева, 2015 год. – Режим доступа: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/Russian/ST_SG_AC_10_30_Rev_6r.pdf. – Дата доступа: 21.02.2022.
2. Национальные регистры и перечни химических веществ: преимущества и подходы к созданию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/373689/National-chemicals_Content_WHO_RUS_WEB4.pdf/. – Дата доступа: 20.02.2020.
3. Ситуационный анализ национального потенциала для осуществления Роттердамской конвенции в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : Обзор / подготовлен рабочей группой, созданной в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены», при поддержке Министерства здравоохранения Республики Беларусь и содействии Специальной программы доверительного фонда ЮНЕП ; под редакцией: С. И. Сычика, И. И. Ильюковой. – 89 с. – Режим доступа: <http://chemsafety.rspch.by/> – Дата доступа: 21.02.2022.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОАКТИВНОГО МЕЗОПОРИСТОГО УГЛЯ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

OBTAINING HIGHLY ACTIVE MESOPOROUS COAL FROM WASTE OF THE WOOD PROCESSING INDUSTRY

А. В. Мамаев¹, Д. Д. Гриншпан², Н. Г. Цыганкова², Т. А. Савицкая²
A. V. Mamaev¹, D. D. Hrynshpan², N. G. Tsygankova², T. A. Savitskaya²

¹Учреждение образования «Национальный Детский Технопарк», НДТП

²Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»,
НИИ ФХП БГУ

г. Минск, Республика Беларусь
grinshpan@bsu.by, mamaev_a06@mail.ru

¹Educational institution «National Children's Technopark», NCTP

²Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, RI PCP BSU

Рассмотрен способ получения мезопористого активированного угля с высокой удельной поверхностью, равной 1289 м²/г. Получаемый уголь имеет очень высокую сорбционную способность по метиленовому

голубому, равную 610 мг/г, а также проявляет ионообменные свойства по отношению к ионам тяжёлых металлов. Уголь, получаемый по данному способу, по своим показателям значительно превосходит лучшие мировые аналоги, но его себестоимость в 4 раза ниже стоимости импортного активированного угля. Благодаря наличию мезопор активированный уголь имеет широкий спектр применения, а его производство на территории Беларуси будет прибыльным и поможет снизить количество образующихся древесных отходов.

A method for producing of mesoporous activated carbon with a high specific surface area equal to 1289 m²/g is considered. The resulting coal has a very high sorption capacity for methylene blue, equal to 610 mg/g, and also exhibits ion-exchange properties with respect to heavy metal ions. Coal obtained in this method, in terms of its performance, significantly exceeds the best world analogues, but its cost is 4 times lower than the cost of imported activated carbon. Due to the presence of mesopores, activated carbon has a wide range of applications, and its production in Belarus will be profitable and help reduce the amount of wood waste generated.

Ключевые слова: сорбент, активация, древесные отходы, мезопоры.

Keywords: sorbent, activation, wood waste, mesopores.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-304-307>

В настоящее время в результате работы деревообрабатывающей промышленности образуется большое количество отходов: кора, стружка, опилки и др. Переработка этого сырья с получением экономической выгоды является важной задачей.

В цехах Минлесхоза Республики Беларусь за 2020 г. образовалось 630 тыс. куб. метров коры и опилок. Концерном «Беллесбумпром» в 2020 г. было экспортировано 243,4 тыс. т древесной щепы и стружки по цене 21 \$ за тонну, 11 361 т опилок по цене 70,3 \$ за тонну. По данным государственного лесного учреждения «Рогачевский лесхоз», кора отдельно не собирается, её учёт не ведётся. Отходы лесоматериалов в виде опилок древесных, стружки древесной и щепы в полном объеме реализуются потребителям по ценам: опилки – 4 руб. 37 коп., отходы древесные – 5 руб. 25 коп., стружка древесная – 1 руб. 44 коп., щепа топливная – 34,98 руб. за тонну.

Сегодня древесные отходы имеют несколько путей практического применения. Измельчённую кору используют садоводы для мульчирования почвы. Из древесных опилок получают топливные гранулы и пеллеты. Щепа также используется для получения тепловой энергии. Из древесной стружки производят древесно-стружечные плиты, которые используются при строительстве и при изготовлении мебели.

Нам представилось целесообразным получить из вышеперечисленных отходов пористые углеродные адсорбенты (активированные угли). Реализация производства адсорбентов на базе дешевых отходов возобновляемого растительного сырья потенциально может способствовать не только вовлечению в материальный оборот мало утилизируемых отходов, но и решению природоохранных проблем.

В мире существует большое количество предприятий, которые сбрасывают в природные водоёмы огромное количество сточных вод, загрязнённых токсичными веществами и радионуклидами. Очистка воды для питьевых и промышленных целей является важной задачей, поэтому в настоящее время активно проводится поиск эффективных сорбентов для очистки воды. Одним из самых лучших сорбентов является активированный уголь (АУ).

Новизна работы заключается в том, что мы предлагаем сегодня начать производство активированного угля не из качественной древесины (берёзы), а из отходов деревообрабатывающей промышленности. Производство активированного угля по существующей технологии, т.е. парогазовой активацией древесины берёзы, на территории Беларуси является неконкурентоспособным, т.к. себестоимость получаемого по такой методике продукта в 5 раз превышает стоимость аналогичного импортного сорбента из России.

Для получения активированного угля был использован метод термохимического превращения растительной биомассы. Для этого навеска 5 г. древесных отходов пропитывалась растворами специального химического активатора различной концентрации в течение различного времени. Полученная масса переносилась в тигель и подвергалась двухстадийной термической обработке в муфельной печи при температурах 300 °С и 500 °С в течение различного времени. Уголь, образовавшийся после термической обработки, отмывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и отрицательной пробы на фосфат-ионы и высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Далее спектрофотометрически определяли сорбцию полученными активированными углями одного из главных калибрантов – красителя метиленового голубого (МГ) – по следующей методике. Навеску 0,1 г угля, взвешенную на аналитических весах с точностью до 0,0001 г, помещали в колбы вместимостью 50 см³, прибавляли 25 см³ раствора МГ с концентрацией 2500 мг/дм³, перемешивали содержимое колб с помощью мешалки IKA KS 130 basic со скоростью 240 об/мин в течение 180 мин. По прошествии указанного времени исследуемые образцы отделяли центрифугированием в течение 10 мин при 7000 об/мин. Центрифугат объёмом 1 см³ помещали в мерную колбу вместимостью 100 см³, доводили дистиллированной водой до метки и перемешивали. Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре Metertech SP-830 plus при длине волны 590 нм. Используя калибровочный график, определяли конечную концентрацию красителя в растворе и рассчитывали сорбционную способность АУ с учетом различия концентраций раствора МГ до

и после сорбции. Для образцов АУ исследовали также сорбцию ионов тяжёлых металлов (меди, железа и цинка) и ионов кальция и магния при помощи ионного хроматографа Metrohm 850 Professional IC. Сканирующие микрофотографии поверхности АУ были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа "LEO-1420". Препараты для просмотра готовили путем нанесения 1 см³ суспензии угля на предметное стекло 1,5×1,5 см с последующей сушкой на воздухе. Перед просмотром на поверхность препаратов напыляли золото на установке K550 (EMITESH). Соотношение мезопор и микропор и удельную поверхность по ВЕТ определяли по данным низкотемпературной адсорбции азота.

Полученные результаты представлены в таблицах 1–4.

Таблица 1 – Сорбционная способность по МГ активированных углей, полученных по разным методикам из коры и опилок в качестве растительного сырья

Образец сорбента	Время химической обработки, ч	Выход, %	СС по МГ, мг/г
АУ из коры сосны (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 2 ч – 500 °С)	1	9,9	420
АУ из коры сосны (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	24	–	490
АУ из коры сосны (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	72	9,0	595
АУ из опилок (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	1	26	610
АУ из опилок (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	24	–	610
АУ из опилок (терм. обр.: 2 ч – 300 °С, 3 ч – 500 °С)	72	–	600

Таблица 2 – Зависимость сорбционной способности и выхода АУ из опилок от массовой доли активатора

Концентрация активатора, % (время обработки 1 ч)	Выход, %	Сорбционная способность, мг/г
50	18	540
68	26	610
75	21	530
80	26	500

Таблица 3 – Сорбционная способность по метиленовому голубому экспериментальных и промышленных АУ

Название препарата АУ (производитель)	МГ, мг/г
Таблетки (Natur Product), Франция	15±5
Гранулы «Карболонг», Украина	90±5
Таблетки «Norit», Нидерланды	170±10
Chim. Toppel NS 45	180±10
Таблетки «Carbo medicinalis 0,3 g», Польша	140±10
Таблетки АО «Медисорб», Россия	190±10
Таблетки Борщоговский ХФЗ, Украина	195±10
Таблетки ПО «Курский КЛС», Россия	230±10
Порошок «Белосорб-П», Беларусь	300±10
Активированный уголь (Несвиж), Беларусь	320±10
Обычный древесный уголь, Беларусь	190±10
Таблетки «Kohle-Compretten», (Merck), Германия	320±10
Таблетки «Ultracarbon» (Merck), Германия	250±10
Гранулы «Карбовит-КУ-II», Украина	250±10
Порошок АУТ-МИ, Светлогорск, Беларусь	470±10
Таблетки «Углесорб», НИИ ФХП БГУ, г. Минск (Беларусь)	540±10
АУ из коры (1 мм)	595±10
АУ из опилок	610±10
АУ из опилок	610±10

Таблица 4 – Содержание ионов в растворе после фильтрации через слой АУ, полученных из различного растительного сырья

Уголь, полученный из следующего сырья	Катионы, мг/л							Анионы, мг/л			
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{общ.}	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻
Кора крупная	27,3	1	15,6	9,7	0,18	0,9	1,4	17,5	90,1	8,1	0,0
Кора, размер частиц 1 мм	1,0	0,5	34,1	14,0	0,29	0,1	1,4	15,6	44,1	78,1	0,0
Лигнин	48,4	0,8	6,8	5,3	0,12	0,2	1,1	15,8	101,5	5,3	3,6
Бамбук	373,9	19,9	11,5	9,2	0,14	0,0	1,2	19,2	258,0	0,0	10,0
Исходный р-р	0,2	0,0	9,2	9,8	0,59	0,9	1,9	15,7	45,6	0,0	0,0

Как следует из таблиц 1–3, наилучшую сорбционную способность по метиленовому голубому имеет АУ из опилок – 610 мг/г. Он имеет высокую удельную поверхность, равную 1289 м²/г, из них 578 м²/г составляет поверхность микропор, 770 м²/г – мезопор. Суммарный объём пор составляет 0,83 см³/г. Установлено, что лучшие показатели активированный уголь достигаются при массовой доле активатора, равной 68 %. Оптимальное время химической обработки для коры составляет 72 ч, а для опилок – 1 ч. Показано, что получаемый АУ обладает катионообменными свойствами. Так, в процессе фильтрации модельного раствора через слой АУ из коры удалось достичь снижения концентрации ионов железа в 2 раза, а меди более чем в 8 раз (таблица 4).

По характеристикам сорбционной активности полученный АУ значительно превосходит лучшие мировые аналоги (таблица 3) и при этом имеет высокий выход, равный 26 %, и низкую зольность – меньше 0,5 %.

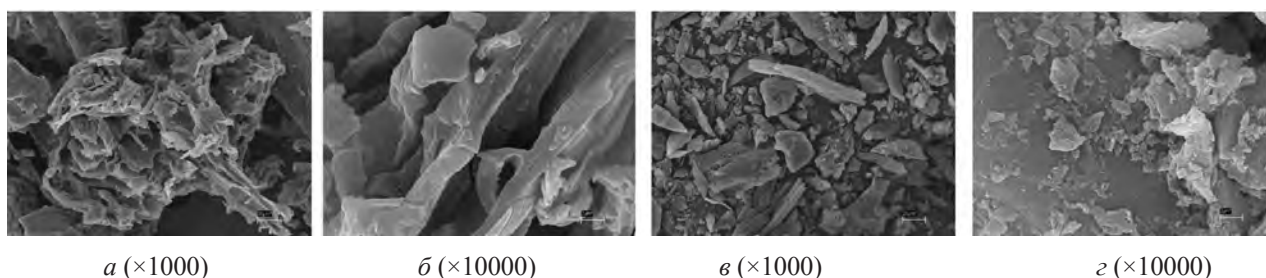


Рисунок 1 – СЭМ-снимки образцов АУ, полученных из коры (а, б) и опилок (в, г) при различных увеличениях

На рисунке 1 приведены сканирующие электронные микрофотографии поверхности углей из коры и опилок. Как было установлено по данным низкотемпературной адсорбции азота, получаемый АУ является мезопористым. Это означает, что он содержит поры размером 2 – 50 нм, которые способны сорбировать крупные молекулы. Адсорбцию в мезопорах характеризует последовательное формирование на их стенках слоев адсорбируемых молекул (полимолекулярная адсорбция), завершаемое заполнением этих пор по механизму капиллярной конденсации.

Полученные мезопористые АУ можно использовать в следующих целях:

- очистки воздуха от радиоактивных газов, легколетучих неорганических соединений и паров органических растворителей;
- очистки сточных вод АЭС от средне- и низкоактивных радионуклидов;
- очистки сточных вод фармацевтической промышленности от антибиотиков, гормональных препаратов, поверхностно-активных веществ;
- очистки спиртосодержащих продуктов в ликёро-водочной промышленности.

Согласно предварительному расчету, себестоимость полученного нами мезопористого активированного угля, произведенного из отходов, составляет менее \$5 000 за тонну, что равно стоимости закупаемого сегодня из-за рубежа обычного мезопористого активированного угля. Мезопористый уголь, импортируемый сегодня, стоит более \$20 000 за тонну. При сравнении указанных величин нетрудно рассчитать, какую выгоду будет получать Республика Беларусь при организации производства АУ из древесных отходов.

Таким образом, разработан новый способ получения высокоактивного мезопористого угля, имеющего высокие сорбционную способность по МГ, удельную поверхность и ионообменные свойства. Получаемый АУ значительно лучше мировых аналогов. Его производство на территории Беларуси будет прибыльным и поможет эффективно использовать древесные отходы. Поэтому целесообразно масштабировать производство АУ из коры и опилок и организовать опытно-промышленное и промышленное производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кинле, Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер; пер. с нем. Т.Б.Сергеевой; под ред. Т.Г. Плаченова, С.Д. Колосенцева. – Л:Химия, Ленин. Отд-ние, 1984. – 215 с.
2. Левданский В.А., Полежаева Н.И., Макиевская А.И., Кузнецов Б.Н. Безотходная переработка коры пихты // Химия растительного сырья. – 2000. – №4. – С. 21–28.

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ В ПРИСУТСТВИИ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ TiO_2 PHOTODEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS IN WATER BY TiO_2 -BASED PHOTOCATALYSTS

**А. В. Медведский^{1,2}, Н. А. Савастенко^{1,2}, С. А. Маскевич^{1,2}, И. И. Филатова³,
М. Т. Габдуллин⁴, Т. С. Рамазанов⁴, Х. А. Абдуллин⁴, Ж. К. Калкозова⁴
A. V. Miadzvetski^{1,2}, N. A. Savastenko^{1,2}, S. A. Maskevich^{1,2}, I. I. Filatova³,
M. T. Gabdullin⁴, T. S. Ramasanov⁴, Kh. A. Abdullin⁴, Zh. K. Kalkozova⁴**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь,
kfm@iseu.by, aleksandr.miadzvetski@iseu.by

³Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь

⁴Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа,
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

³B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

⁴National Nanotechnology Laboratory of Open Type, Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan

Исследована кинетика фотокаталитического разложения органических примесей в водных средах в присутствии катализаторов на основе диоксида титана (TiO_2) на примере модельной реакции фотодегградации метилового оранжевого (МО) под действием ультрафиолетового излучения. Для синтеза диоксида титана в структурных формах анатаза и рутила был использован гидротермальный метод. Фотокаталитическая активность синтезированных материалов выражена в терминах константы скорости фотодегградации метилового оранжевого. Структурные свойства синтезированных материалов исследованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и спектроскопии комбинационного рассеяния и рентгеноструктурного анализа.

It has been studied the kinetics of photocatalytic decomposition of organic pollutants in water using TiO_2 -based photocatalysts. The photodegradation of Methyl Orange (MO) under UV light was chosen as the model reaction for the study of the catalysts performance. Anatase and rutile TiO_2 were synthesized using hydrothermal method. The rate constant of photodegradation was used to express the catalytic reactivity of the catalyst. The synthesized catalysts were characterized by scanning electron microscopy (SEM), Raman spectroscopy and X-ray diffraction analysis (XRD).

Ключевые слова: фотокатализатор, диоксид титана, TiO_2 , фотодегградация, метиловый оранжевый, гидротермальный синтез, наноструктурированный фотокатализатор

Keywords: photocatalyst, titanium dioxide, TiO_2 , photodegradation, methyl orange, hydrothermal synthesis, nanostructured photocatalyst.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-308-311>

Очистка сточных вод от органических примесей является важнейшей задачей в сфере восстановления водных ресурсов, загрязняемых в результате деятельности предприятий, использующих, в частности, в технологических процессах органические красители, которые могут вызывать онкологические заболевания [1]. К настоящему времени разработан ряд методов очистки воды, основанных на явлении обратного осмоса, фильтрации, абсорбции на активированном угле и т. д. [2]. Однако перечисленные методы или недостаточно эффективны, или имеют высокую эксплуатационную стоимость [3]. В связи с этим актуален поиск новых и совершенствование существующих методов удаления органических примесей из водных сред.

Гетерогенный фотокатализ с использованием нанокатализаторов на основе оксида цинка и диоксида титана рассматривается как перспективный способ очистки водных сред от отходов фармакологической промышленности [4].

Одним из перспективных путей повышения эффективности фотокатализаторов является изменение морфологии и увеличение удельной площади их поверхности, а также использование наноматериалов.

В настоящее время интенсивно развивается гидротермальный метод синтеза материалов, позволяющий при варьировании температуры технологического процесса и состава исходных растворов целенаправленно изменять свойства и морфологию получаемого материала [5].

В настоящей работе исследованы структурные и фотокаталитические свойства катализаторов на основе диоксида титана, синтезированных гидротермальным методом.

Синтез образцов диоксида титана был проведен двумя способами.

В первом случае составляли раствор серной кислоты в пропорции: 100 частей воды и 4 части концентрированной серной кислоты, которую по каплям добавляли в воду. В процессе подготовки раствор помещали в ледяную баню, чтобы исключить значительное тепловыделение при растворении кислоты. После охлаждения до 0 °С в раствор по каплям добавляли 2 части тетрахлорида титана. Раствор перемешивался в течение 1 часа, затем при перемешивании осуществлялся его нагрев до 60 °С с последующим подогревом в течение 1–2 часов при непрерывном перемешивании на магнитной мешалке. При этом серый раствор становился прозрачным. Для увеличения pH раствора до 7 в него по каплям добавляли $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, после чего раствор становился белым. При охлаждении раствора до комнатной температуры образовывался гель. Водный гель TiO_2 отфильтровывали и промывали дистиллированной водой, сушили при комнатной температуре и прокаливали при 400 °С в течение двух часов.

Другой способ синтеза катализатора оксида титана заключался в следующем: в охлажденный водный раствор соляной кислоты по каплям добавляли TiCl_4 . Объемное соотношение компонентов составляло $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}:\text{TiCl}_4=1:2:1$. Полученный раствор перемешивался на магнитной мешалке в течение 6 часов при комнатной температуре. Затем раствор заливали в тефлоновый стакан, который помещали в герметично закрывающийся стальной контейнер-реактор, играющий роль автоклава. Реактор помещали в печь и отжигали при 13 °С и 16 °С в течение 3 часов. После окончания синтеза реактор вынимали из печи и охлаждали до комнатной температуры. Раствор с продуктами реакции переливали из тефлонового стакана в стеклянный стакан, затем полученный образец тщательно промывали дистиллированной водой и высушивали.

Для исследования морфологии синтезированных образцов методом сканирующей электронной микроскопии был использован электронный микроскоп Quanta 200i 3D. Спектры комбинационного рассеяния (рамановские спектры) получены на спектрометре Ntegra spectra (длина волны излучения лазера $\lambda=473$ нм).

Фотокаталитическую активность исследовали в модельной реакции разложения красителя метилового оранжевого ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$, MO) под действием ультрафиолетового излучения в водных суспензиях синтезированных образцов. Суспензии катализаторов в водных растворах модельных веществ подвергали воздействию УФ-излучения. В качестве источника ультрафиолетового излучения использовали ртутно-кварцевую лампу ДРТ-240 (мощность 240 Вт). Уровень освещенности в зоне воздействия, оцененный с помощью люксметра ТКА-ЛЮКС, в видимой области и ближнем УФ-диапазоне составлял 150 кЛк. В процессе облучения контролировали изменение концентрации MO в растворе с помощью спектрофотометра SOLAR PB 2201 (SOLAR, Беларусь). Относительную концентрацию модельного вещества C_r определяли по данным измерений оптической плотности в максимуме поглощения:

$$C_r = \frac{C(t)}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_t}{A_0} \cdot 100\% \quad C_r = \frac{C(t)}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_t^{465}}{A_0^{465}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация модельного вещества, $C(t)$ – концентрация модельного вещества после облучения его УФ излучением в момент времени t , A_0 и A_t – оптическая плотность раствора модельного вещества в максимуме поглощения ($\lambda=272$ нм) до начала облучения и в момент времени t после начала облучения образца соответственно.

Константу скорости реакции фотодегградации k , определяли по формуле (2) по наклону графика зависимости логарифма концентрации $\ln(C_r)$ от времени:

$$\ln C_r = \ln \frac{C(t)}{C_0} = -kt. \quad (2)$$

Константу скорости реакции фотодегградации k использовали в качестве количественной характеристики фотокаталитической активности образцов.

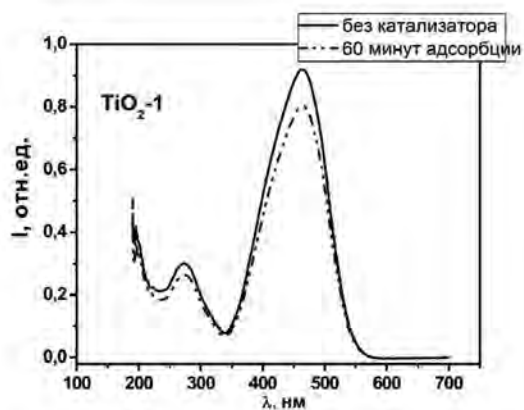
Перед началом измерений проводились предварительные эксперименты для установления возможности уменьшения концентрации модельного вещества вследствие адсорбции его молекул на поверхности катализатора при отсутствии облучения (определение сорбционной емкости катализатора, темновое поглощение).

На рисунке 1 представлены результаты темновой (в отсутствии облучения ультрафиолетовым светом) адсорбции MO для фотокатализаторов на основе диоксида титана, синтезированных с использования первого (образец TiO_2 -4) и второго (образец TiO_2 -1) способа.

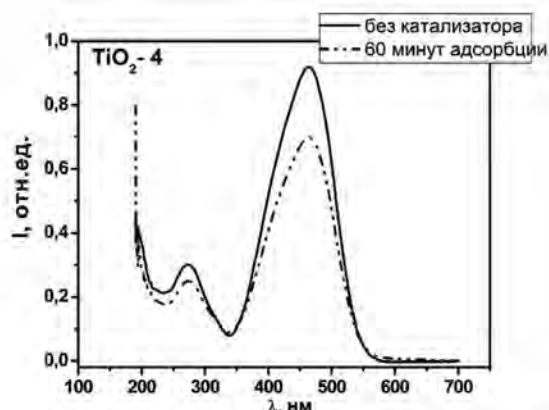
Как видно из рисунка 2, сорбционная емкость катализатора TiO_2 -4 несколько выше, чем катализатора TiO_2 -1.

На рисунке 2 представлена кинетика реакции фотодегградации MO в присутствии фотокатализаторов TiO_2 -4 и TiO_2 -1. Там же приведены рассчитанные по формуле (2) константы скорости реакции фотодегградации.

Результаты рамановских исследований показывают, что образец TiO_2 , полученный вторым способом, состоит из фазы рутила без примеси анатаза, а полученный первым способом – из фазы анатаза.



а)



б)

Рисунок 1 – Изменения спектров поглощения МО в результате темновой адсорбции на поверхности TiO_2 -4 (а) и TiO_2 -1 (б)

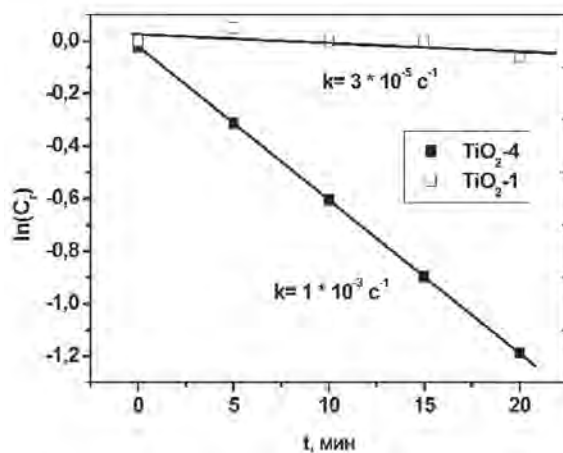
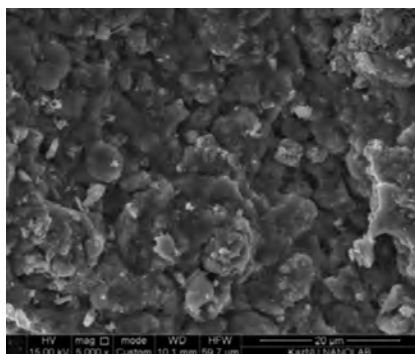
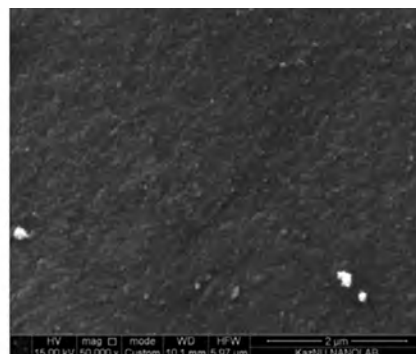


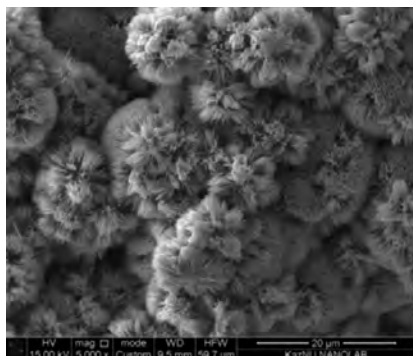
Рисунок 2 – кинетика реакции фотодеградации МО в присутствии фотокатализаторов TiO_2 -4 и TiO_2 -1



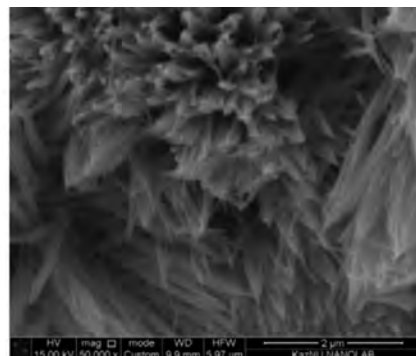
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3 – СЭМ- изображения поверхности фотокатализаторов TiO_2 -4 (а) и (б) и TiO_2 -1(в) и (г), полученные при различном увеличении

Анализ рентгенограмм образцов TiO_2 -4 и TiO_2 -1 вместе с рентгенограммами стандартных порошков TiO_2 фазы рутила и анатаса показывает, что образец TiO_2 -1 представляет собой образец с решеткой рутила, а образец TiO_2 -4 – анатаса. При этом линии рутила (TiO_2 -1) имеют заметную полуширину, по которой можно оценить размеры нанокристаллических областей. Оценки по формуле Шеррера дают размеры 10.5 нм для рефлекса 110, 13 нм для рефлекса 101 и 8 нм для рефлекса 211 рутила.

На рисунке 3 представлены микрофотографии синтезированных образцов, полученных методом сканирующей электронной микроскопии.

Как видно из рисунка 3, образец TiO_2 -1 состоит из тонких перьев длиной 2-3 мкм и поперечными размерами менее 50 нм и имеет более развитую наноструктуру по сравнению с образцом TiO_2 -4, однако его фотокаталитическая активность ниже активности образца TiO_2 -4.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что фаза диоксида титана является определяющим фактором для реакции фотодегradации МО.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов», а также гранта Министерства образования РБ по проекту «Фотокаталитические свойства диоксида титана, синтезированного гидротермальным методом».

ЛИТЕРАТУРА

1. Kansal, S.K. Studies on photodegradation of two commercial dyes in aqueous phase using different photocatalysts / S. K. Kansal, M. Singh, D. Sud // Journal of hazardous materials. – 2007. – Vol. 141. – iss. 3. – P. 581–590.
2. Rajeshwar, K. Heterogeneous photocatalytic treatment of organic dyes in air and aqueous media / K. Rajeshwara, M.E. Osugi, W. Chanmanee, C.R. Chenthamarakshana, M.V.B. Zanoni, P. Kajitvichyanukul, R. Krishnan-Ayera // J. Photochem. Photobiol. – 2008. – Vol. 9. – P. 171–192.
3. Atmani, F. Synthetic Textile Effluent Removal by Skin Almonds Waste / F. Atmani, A. Bensmaili, N.Y. Mezenner // Journal of Environmental Science and Technology. – 2009. – Vol. 2. – P. 153–169.
4. Sarkar, S. Photocatalytic degradation of pharmaceutical wastes by alginate supported TiO_2 nanoparticles in packed bed photo reactor (PBPR) / S. Sarkar, S. Chakraborty and C. Bhattacharjee // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2015. – V. 121. – P. 263–270.
5. Guo, M. Hydrothermal growth of well-aligned ZnO nanorod arrays: Dependence of morphology and alignment ordering upon preparing conditions / Min Guo, Peng Diao, Shengmin Cai // J. Solid State Chem. – 2005. – Vol. 178. – P. 1864–1873.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВБЛИЗИ ЗАКРЫТОГО ПОЛИГОНА КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

ANALYSIS OF THE CONTENT OF POLLUTANTS IN GROUNDWATER NEAR THE CLOSED POLYGON OF SOLID WASTE IN MINSK REGION

А. Д. Никитич^{1,2}, В. М. Мисюченко^{1,2}

A. D. Nikitich^{1,2}, V. M. Misiuchenka^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kem@iseu.by, anastasianikitic@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрено содержание загрязняющих веществ в подземных водах вблизи закрытого полигона коммунальных отходов Минской области в течение трех сезонов года – весна, лето и осень. Выявлено, что колебания содержания железа общего, сульфат-ионов, хлорид-ионов менялось незначительно по сезонам года. В то время как минерализация воды увеличилась с весеннего периода к осени, а содержание аммоний-ионов уменьшилось за исследуемый период. Наибольшими значениями характеризовалось содержание таких тяжелых металлов как цинк, медь и марганец, в то время как превышений содержания свинца, хрома, кадмия и ртути по сравнению с фоновой скважиной не выявлено за рассматриваемый период.

The article considers the content of pollutants in groundwater near the closed municipal waste landfill in Minsk region during the three seasons of the year - spring, summer and autumn. It was revealed that the fluctuations in the content of total iron, sulfate ions, chloride ions changed insignificantly during different seasons of the year. While the mineralization of water increased by autumn, the content of ammonium ions decreased by autumn. The highest values were characterized by the content of such heavy metals as zinc, copper and manganese, while the excess of lead, chromium, cadmium and mercury in comparison with the background well was not detected during the period under review.

Ключевые слова: полигон, загрязняющие вещества, подземные воды, твердые коммунальные отходы.

Keywords: landfill, pollutants, groundwater, municipal solid waste.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-311-314>

К направлениям устойчивого развития регионов относится обеспечение экологической безопасности и сохранение благоприятной окружающей среды, включая обеспечение населения рассматриваемого региона качественной питьевой водой [1].

К числу объектов, обладающих высоким риском негативного воздействия на подземные воды, относятся и объекты захоронения отходов потребления и отходов производства (полигоны захоронения твердых коммунальных отходов). В последние десятилетия удельный показатель таких отходов увеличился с 0,48 до 0,88 кг/чел. в день, а объемы их переработки составляют не более 10 % от их общего количества [2].

Имеющиеся результаты оценки других исследователей указывают на то, что загрязнение подземных вод соединениями азота, нефтепродуктами, тяжелыми металлами достигает десятков значений, установленных ПДК. Загрязнение подземных вод от полигонов хранения коммунальных отходов носит постоянный характер. Воздействии полигонов на подземные воды тесно связано с типом геологической среды и наличием противодиффузионного экрана в основании полигонов.

Для Минской области проблема захоронения отходов особенно актуальна, так как большинство полигонов ТКО исчерпали свой резерв с точки зрения срока эксплуатации. Кроме того, строительство многих из них осуществлялось без предварительных инженерно-геологических изысканий, без разработки проектов в силу чего многие из них не соответствуют современным экологическим требованиям, о чем свидетельствуют данные мониторинга [3].

На рисунке 1 представлен анализ данных содержания загрязняющих веществ в подземных водах по трем сезонам года – весна, лето и осень. Был проанализирован закрытый полигон с 5 точками отбора, одна из скважин является фоновой.

В целом для Минской области свойственны маломинерализованные подземные воды преимущественно гидрокарбонатного кальциевого состава, которые в основном, удовлетворяют общим требованиям белорусского стандарта, что хорошо проиллюстрировано результатами наших исследований (рис.1.). Результаты анализа показали, что концентрация аммоний-иона уменьшилась с весеннего периода больше чем на 80%. Это свидетельствует о снижении свежего поступления загрязняющих веществ. В то время как концентрация нитрат-иона наоборот возросла с весеннего периода года к осеннему, что указывает на свежее загрязнение и близость источника загрязнения.

Концентрация сульфат-иона колебалась незначительно по сезонам. Естественным путем сульфаты в незначительных концентрациях накапливаются в процессе отмирания организмов и окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения. Можно сделать вывод о прекращении поступления этих загрязнителей при консервации полигона.

Хлориды обладают высокой миграционной способностью благодаря хорошей растворимости. В нашем случае значительного поступления этих загрязняющих веществ не происходит вследствие отсутствия поступления их из новых слоев отходов.

Водородный показатель по всем сезонам года и на протяжении всего года меньше фоновой концентрации ($pH_{фон} = 8,92$).

Фосфор является одним из главных биогенных компонентов, определяющих продуктивность полигона. Фосфат-ион, как и сульфат-ион, является информативным индикатором антропогенного загрязнения, которому способствует широкое применение фосфорных удобрений. При анализе было выявлено, что фосфат ион меньше фоновой концентрации и на протяжении всех рассматриваемых сезонов колебания не значительные.

На рисунке 2 представлен анализ данных содержания тяжелых металлов в подземных водах по трем сезонам года – весна, лето и осень.

В подземных водах рассматриваемого полигона отмечаются относительно низкие концентрации тяжелых металлов за исключением марганца, цинка и меди, в то время как концентрация хрома, свинца, кадмия и ртути не превышают фоновые содержания за рассматриваемый период по всем контрольным скважинам.

Колебания по сезонам года цинка не значительные, а концентрация марганца имеет наибольшие значения весной. Основной причиной такой ситуации является то, что полигон закрыт и твердые коммунальные отходы не складировются. Концентрация меди достигает наибольших значений в летний период года.

Полигоны твердых коммунальных отходов являются объектами высокого экологического риска загрязнения окружающей среды. Важным фактором, определяющим негативное воздействие полигонов захоронения, является свалочный фильтрат. Фильтрат является постоянным источником загрязнения подземных вод, в ходе эксплуатации объекта захоронения отходов.

В целях снижения вредного воздействия на компоненты окружающей среды полигоны оборудуются специальными инженерными сооружениями. Проектирование, строительство полигонов твердых коммунальных отходов на территории Минской области регламентируется Законом Республики Беларусь «Об обращении с отходами» и иными нормативно-правовыми актами.

Локальный мониторинг окружающей среды, является одним из 12 видов мониторинга в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь и проводится юридическими лицами за счет собственных средств. Наблюдения проводятся лабораториями природопользователей либо другими аккредитованными лабораториями [4].

Проведение наблюдений локального мониторинга осуществляется в период спада весеннего половодья, но не реже 1 раза в год.

Оценка воздействия объектов на состояние подземных вод в соответствии с требованием ЭкоНП 17.01.06-001-2017 проводится путем сравнения фактических концентраций загрязняющих веществ в наблюдательных и фоновых скважинах (показатель $C_{\text{набл}}/C_{\text{фон}}$). Повышенное содержание марганца и железа, зафиксированное в подземных водах как в фоновых, так и наблюдательных скважинах, обусловлено в основном их высоким природным фоном, и при оценке вредного воздействия на подземные воды, как правило, не учитывается [5].

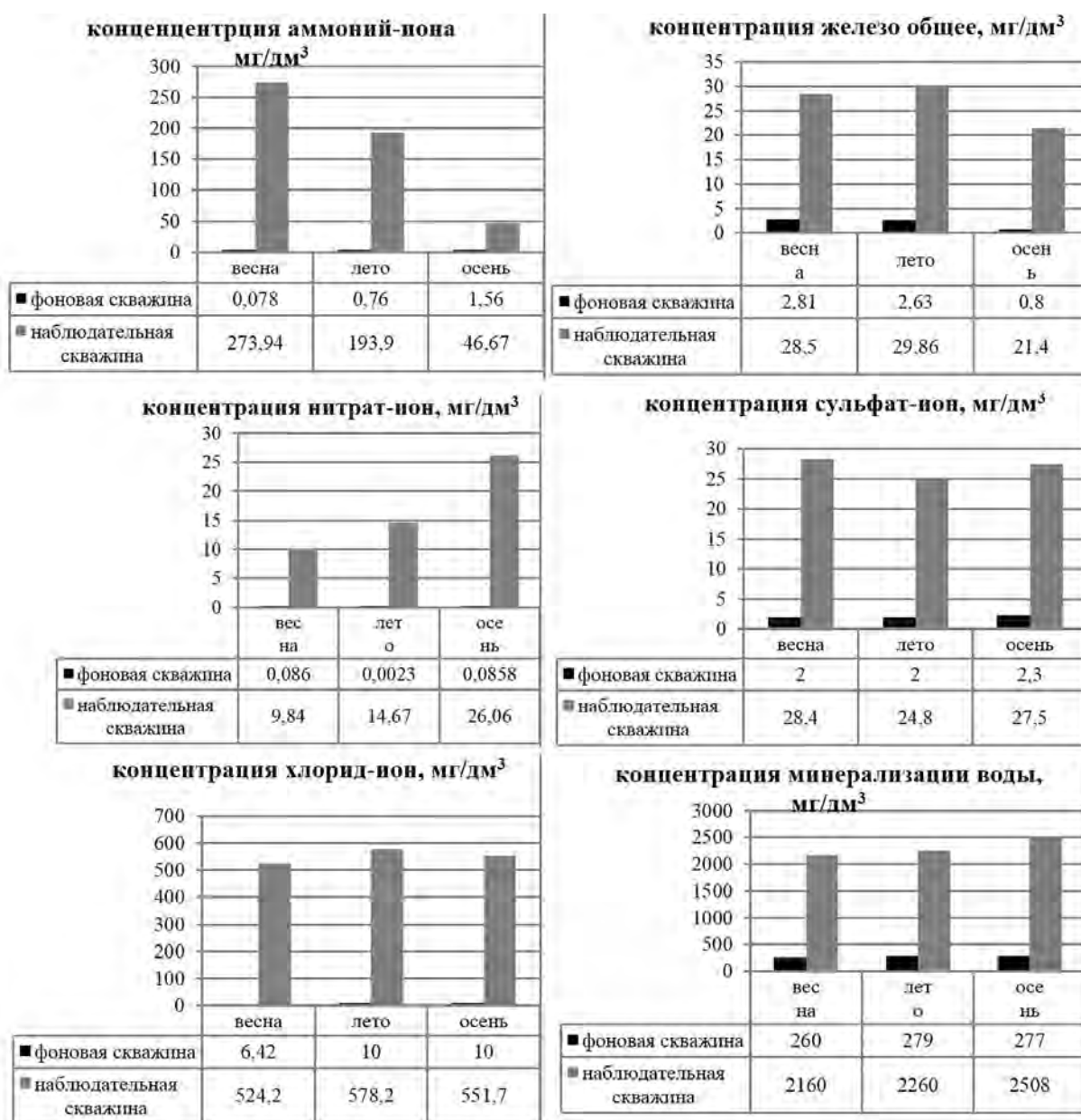
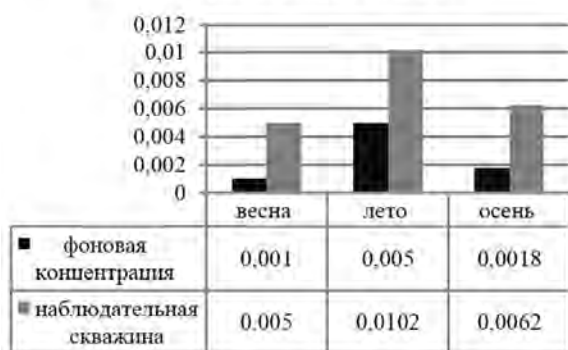
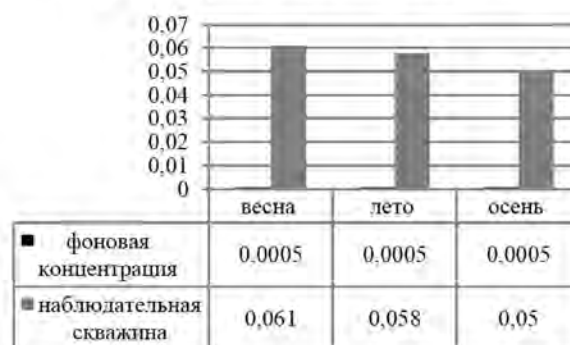


Рисунок 1 – Концентрации химических элементов в подземных водах наблюдательных скважин по отношению к фоновой концентрации, мг/дм³

концентрация меди, мг/дм³



концентрация цинка, мг/дм³



концентрация марганца, мг/дм³

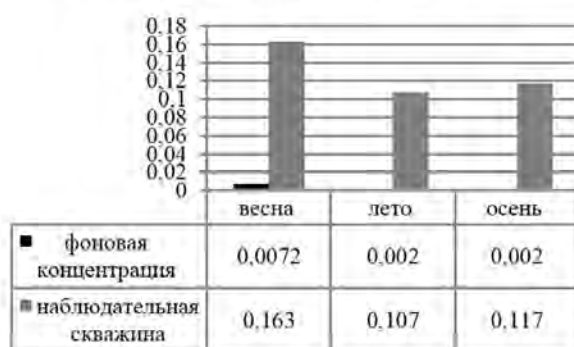


Рисунок 2 – Концентрации тяжёлых металлов в подземных водах наблюдательных скважин по отношению к фоновой концентрации, мг/дм³

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипова Е.А. и др. Стратегия устойчивого развития Беларуси: экологический аспект. – Минск: ФУАинформ, 2014. – 336 с.
2. Ерошина Д.М., Ходин В.В., Зубрицкий В.С. и др. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах. – Минск: «Бел НИЦ «Экология», 2010. – 152 с.
3. Лысухо, Н. А. Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду: монография / Н. А. Лысухо, Д. М. Ерошина. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 210 с.
4. Об утверждении Инструкции о порядке проведения локального мониторинга окружающей среды юридическими 144 лицами, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность, которая оказывает вредное воздействие на окружающую среду, в том числе экологически опасную деятельность [Электронный ресурс]: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, от 01 февр. 2007., № 9: в ред. от 11 янв.2017 № 4 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: http://www.pravo.by/upload/docs/op/W21731742_1486069200.pdf.
5. Об утверждении изменения в экологические нормы и правила [Электронный ресурс]: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 20 дек. 2018., № 9-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: http://www.pravo.by/upload/docs/op/W21933819p_1552510800.pdf.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE SOLAR WATER HEATERS USAGE

Л. А. Липницкий^{1,2}, П. К. Шалькевич^{1,2}, П. А. Рыбак^{1,2}

L. A. Lipnitski^{1,2}, P. K. Shalkevich^{1,2}, P. A. Rybak^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь
leonid-l@tut.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены вопросы использования солнечной энергии, проведен сравнительный анализ различных способов применения солнечной энергии для подогрева воды.

The issues of using solar energy are considered, a comparative analysis of various ways of using solar energy for water heating is carried out.

Ключевые слова: солнечная энергия, водонагреватели, теплоаккумуляторы.

Keywords: solar energy, water heaters, heat accumulators.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-315-318>

Освоение альтернативных возобновляемых источников энергии становится актуальнее с каждым годом. Среди них наибольшую популярность приобретают солнечная, ветровая, геотермальная энергетика, получение энергии с использованием биотоплива и волн океана [1].

Интерес к возобновляемым источникам энергии неуклонно возрастает на протяжении нескольких последних десятилетий. Это связано с рядом причин. Прежде всего повышение цен на нефть и газ послужило главным толчком, заставившим искать альтернативные способы получения энергии. Вместе с ростом цен на ископаемые источники энергии удорожают и становятся менее надежными способы их поставки в то время, как получение энергии с помощью возобновляемых источников энергии оказывается с каждым годом более привлекательным и экономичным.

Интерес к солнечной энергии чрезвычайно интересен благодаря ее высокому потенциалу. Потенциал Солнца невероятно велик и только 0,5% его энергии смогло бы полностью покрыть потребности мировой энергетики [1] с расчетом на перспективу солнечной энергетики. Количество солнечной энергии, поступающее на Землю в течение 22 дней, равно величине энергетических запасов всех органических источников топлива на планете. На уровне Центральной Азии на 1 квадратный метр площади, перпендикулярной направлению солнечных лучей, падает за 1 час энергия в 1000 Вт. Ресурсы солнечной энергии на сегодняшний день неисчерпаемы. Только незначительная ее часть накапливается в виде энергии органических веществ, за счет разложения которой существует вся остальная экосистема. По сути, независимо от того будет или нет использоваться человечеством Солнце в качестве источника энергии, на энергетическом балансе Земли и существование биосистем это не повлияет.

Главными преимуществами применения солнечной энергии считается:

- значительное сокращение загрязнения окружающей среды при замене ископаемых источников;
- уменьшение импорта ископаемых продуктов, в частности нефти и газа, и увеличение уровня энергетической независимости;
- возможность установки источников энергии в непосредственной близости от потребителей или на их территории.

Вместе с тем необходимо понимать, что для развития солнечной энергетики необходимо добыча руды, производство аккумуляторов, создание дополнительных линий электропередач. Хотя это относительно небольшой ущерб для окружающей среды.

Энергия Солнца должна собираться с достаточно большой площади и концентрироваться до такой величины, которая достаточна для дальнейшего транспортирования и использования. Кроме того, эта энергия должна аккумулироваться, чтобы использоваться в периоды отсутствия или недостаточности солнечного освещения. На начальном этапе это вызывает негативное отношение к такому способу получения энергии, однако совершенствование технологий и снижение их стоимости привело к все более популярному использованию данного способа получения энергии.

Попытки получения солнечной энергии и ее коммерческого использования начались в 80-е годы 20 века. Наибольшего успеха добились в США, создав солнечно-газовую электростанцию, использующее солнечную энергию днем и газ в ночное время. При этом достигнуто значительное снижение себестоимости получаемой электроэнергии. Первый современный водонагреватель с использованием солнечной энергии был создан еще раньше в Израиле в 1955 г. [2].

На самом деле солнечную радиацию можно преобразовывать в электроэнергию как косвенно, так и напрямую. Для начала рассмотрим косвенное преобразование солнечной радиации. Такой вид преобразования осуществляется путем концентрации солнечной радиации при помощи так называемых следящих зеркал, при помощи которых из воды получают пар, а после используют этот пар для генерирования электричества известными способами. Эта система работает только при наличии прямого освещения солнечными лучами. А вот прямое преобразование солнечной радиации осуществляется и без прямого освещения солнечными лучами, а, например, с использованием фотоэлектрического эффекта. Способ заключается в том, что элементы, изготовленные из специального материала, например из кремния, при прямом солнечном освещении замечают разность в вольтаже на поверхности, что говорит о наличии электрического тока. Также существует метод использования энергии солнца без системы аккумуляторов, этот способ основан на преобразовании разницы температур в глубине океана и на поверхности суши в электрическую энергию.

Американские ученые считают солнечную термoэнергию перспективной, для получения которой используются солнечные рефлекторы, которые собирают тепло и свет, при помощи которых нагревается вода. Для примера можем взять Ковровской механический завод, который находится в городе Жуковск, в России, производит этот завод солнечные тепловые коллекторы для дальнейшего подогрева воды производительностью до 100 тысяч метров кубических в год.

Использование солнечных батарей со временем всё выгоднее и выгоднее, т.к. их стоимость уменьшается с каждым годом. В связи с этим спрос на солнечные батареи растёт примерно на 25 % в год, а ежегодный объём продажи составляет около 40 МВт. КПД солнечных батарей также повышается, по сравнению с 1970 годом, когда КПД составлял 18 % в настоящее время КПД около 28 % (для кристаллического кремния) [3].

Энергия солнца очень важна, т.к. фотоэлектрические установки не оказывают воздействия на окружающую среду, почти не требуют обслуживания, бесшумны и не нуждаются в доступе к воде. Солнечные установки можно поставить в отдаленных и засушливых местах и мощность таких установок будет достигать от нескольких ватт до многих мегаватт.

Солнечное излучение можно использовать для нагрева воды, для этого используются солнечные водонагреватели – коллекторы различных конструкций. Особенность этих конструкций состоит в том, что лучевоспринимающая поверхность обработана специальными компонентами, которые гарантируют максимальное тепловосприятие за счёт их избирательности к тепловому спектру солнечного потока и нагревают воду, которая проходит по трубкам внутри. Такой солнечный водонагреватель-коллектор состоит из бака холодной воды, бака-аккумулятора, короба со змеевиком и труб. Принцип работы таков: холодная вода постоянно поступает в нижнюю часть короба, там нагревается и поступает в бак-аккумулятор. Эта вода может быть использована для отопления, для подачи горячей воды в краны либо для других нужд.

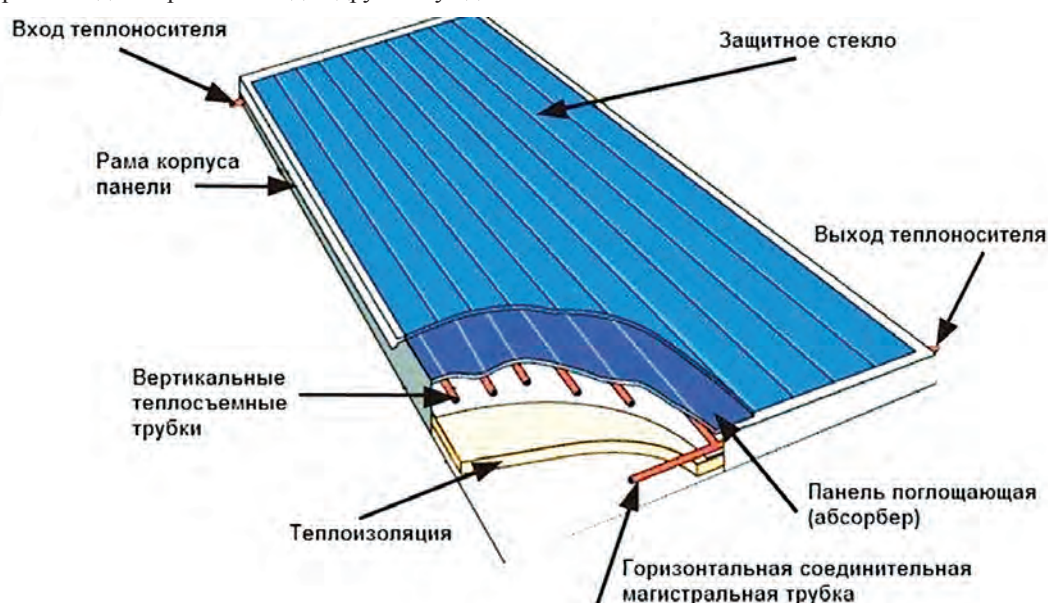


Рисунок 1 – Солнечный водонагреватель-коллектор

Для нагрева 50 литров рассматриваемой солнечной установке понадобится 1-1,5 квадратных метра таких солнечных коллекторов. В солнечный день такая установка может нагреть воду до температуры 90 °С, в зимнее время до 50°С. Для большей эффективности водонагреватели-коллекторы стоит размещать в Центральной Азии.

Рассмотрим плоский солнечный водонагреватель-коллектор – это плоская тепловоспринимающая панель площадью 1–2 квадратных метра с каналами для жидкости. Поверхность этой панели черная, чтобы лучше поглощать инфракрасное излучение.

В качестве тепловоспринимающей панели используют любой пластмассовый или металлический лист с каналами для теплоносителя. Металлические абсорберы обычно изготавливаются из алюминия или стали двух видов: труба в листе и лист-труба. Пластмассовые панели используются редко, т.к. пластмасса быстро стареет под воздействием солнечных лучей, также пластмасса имеет малую теплопроводность, что тоже является минусом. [4]

Для достижения высоких температур теплоносителя поверхность панели принято покрывать спектрально-селективными слоями, которые активно поглощают коротковолновое излучение, а также снижает ее тепловое излучение в длинноволновой части спектра.

Также улучшение характеристик плоских коллекторов можно достичь за счёт создания вакуума между тепловоспринимающей панелью и прозрачной изоляцией для уменьшения тепловых потерь (вакуумные солнечные коллекторы четвертого поколения)

В таком вакуумном водонагревателе-коллекторе объём, в котором находится черная поверхность поглощающая солнечное излучение, отделен от окружающей среды вакуумированным пространством, что позволяет почти полностью устранять потери теплоты в окружающую среду за счёт теплопроводности и конвекции. Потери на излучение в значительной степени подавляются за счёт применения селективного покрытия. Полный коэффициент потерь в таком коллекторе мал, т.к. теплоноситель можно нагреть до 120–160 °С. [4]

Рассмотрим два вакуумных солнечных водонагревателя.



Рисунок 2 – Вакуумный солнечный водонагреватель-коллектор низкого давления (открытый контур) с термосифонной системой

Термосифонные системы работают по принципу естественной конвекции, т.е. теплая вода всегда стремится вверх. В таких системах коллектор должен быть расположен ниже бака. Когда вода в трубках коллектора нагревается, она становится легче и сама поднимается вверх бака. Параллельно этому более прохладная вода в баке течет вниз в трубки, таким образом начинается циркуляция по всей системе. В небольших системах, бак объединен с коллектором и не рассчитан на магистральное давление, поэтому эти системы нужно использовать с подачей воды из вышерасположенной емкости или через уменьшающие давление редукторы.

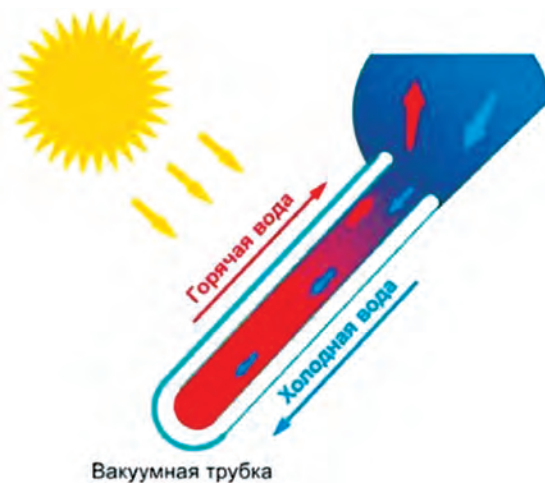


Рисунок 3 – Вакуумный солнечный водонагреватель-коллектор магистрального давления, термосифон со встроенным теплообменником

Термосифон со встроенным теплообменником может обеспечивать работу при магистральном давлении. Нагревается он через теплообменник из спиральной медной трубы, которая расположена внутри

теплоаккумулятора. Принцип работы такого солнечного водонагревателя такой же, как и у обычного термосифона низкого давления.

Коллектор магистрального давления использует медный спиральный теплообменник в баке, вместо использования воды непосредственно и теплоаккумуляторе. Преимущество состоит в том, что такую систему можно использовать при низком качестве нашей воды, т. к. практически нет коррозии и образования накипи внутри вакуумных трубок и теплоаккумулятора.

Самые эффективные солнечные водонагреватели легко встраиваются в современные системы горячего водоснабжения и системы отопления. Подходят они для всех типов климата и рекомендуются для районов с низкими температурами. Оснащенный контроллером, коллектор автоматически поддерживает самые оптимальные параметры циркуляции, обеспечивает заданную температуру, а также имеет режим антизамерзания. Если солнечной радиации недостаточно, то наш контроллер включает дополнительный

Простейший водонагреватель использующий энергию солнца для нагрева воды можно изготовить из обычных пластиковых бутылок объемом 1,5 литра (или подобных). Единственное условие, это однотипность этого элемента конструкции. Важным условием работы такого устройства является герметичность и прочность соединений бутылок между собой. Оптимальным будет вариант, когда в доньшке бутылки просверливается отверстие соответствующее по диаметру горлышку бутылки, что позволяет вставлять одну бутылку в другую. Для крепления можно использовать крышки от этих же бутылок, предварительно просверлив в них отверстия. Соединяя подобным образом можно собрать несколько батарей, в каждой из которых будет по 3-4 бутылки. Количество бутылок в батарее выбирает каждый индивидуально. В зависимости от количества бутылок в батарее и количества таких батарей, получаются геометрические размеры устройства, на основании которых изготавливается каркас водонагревателя. Каркас, как и предыдущем случае, можно изготовить из имеющихся под рукой материалов. Укладывается утеплитель и по возможности затемняется приемная поверхность (внутренняя поверхность нижней стенки каркаса). В изготовленный каркас укладываются батареи бутылок, которые соединяются между собой таким образом, что верхние части батарей подключены к подаче холодной воды от источника водоснабжения, а нижние части – к отводящей трубе с подогретой водой. Лицевая сторона каркаса зашивается стеклом, поликарбонатом либо иным прозрачным материалом, хорошо пропускающим солнечный свет и сохраняющим тепло внутри устройства. Для осуществления надлежащего нагрева воды следует установить запорные вентили на входящей и отводящей трубах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетика сегодня и завтра / В. И. Баланчевадзе, А. И. Барановский, В. Л. Блинкин и др.; под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 344 с.
2. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р. Р. Авезов, М. А. Барский-Зорин И. М. Васильева и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
3. Источники энергии. Факты, проблемы, решения. – М.: Наука и техника, 1997. – 110 с.
4. Энергетика. Главные проблемы: в вопросах и ответах / В. А. Кириллин. – М.: Знание, 1990. – 120 с.

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ЦВЕТОВ

THE EFFECT OF LIGHTING ON THE GROWTH OF FLOWERS

Л. А. Липницкий^{1,2}, Д. А. Игнатовский^{1,2}, И. А. Дубаневич^{1,2}

L. A. Lipnitski^{1,2}, D. A. Ignatovski^{1,2}, I. A. Dubanevich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
et@iseu.by, mrjamchik.rus@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены вопросы использования света в целях улучшения роста растений, выбора аппаратуры для освещения.

The issues of using light to improve plant growth, the choice of equipment for lighting are considered.

Ключевые слова: растения, свет, фотосинтез.

Keywords: plants, lighting, photosynthesis.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-318-322>

Растения крайне часто называют источником жизни на Земле. Действительно, благодаря большому количеству выделяемого ими кислорода, живые существа на нашей планете могут дышать. Также, растения постоянно употребляются в пищу животными, и человек не является исключением. В силу высокого интеллектуального и технологического развития, люди научились использовать растения не только для утоления потребности голода, но и для изготовления материалов, фармакологических и косметических целей, а также для эстетического наслаждения. Учитывая такое широкое применение растений, в условиях рыночной экономики, садоводы и владельцы крупных компаний заинтересованы в том, чтобы предоставить наилучший продукт среди своих конкурентов на рынке.

Исследованиями А. А. Ничипоровича установлено, что урожай сухого вещества сельскохозяйственных культур на 80–90 % создается в результате фотосинтеза [1]. Для большинства растений этот процент приближается к 90–95 %. Процесс фотосинтеза зависит от многих факторов, но ключевым, безусловно, является свет. Грамотно подобранное световое оборудование может существенно улучшить процесс роста растений и получить наилучший результат.

Свет – ключевой элемент, участвующий в росте растений. Безусловно, существует много других факторов, таких как питательные элементы и углекислый газ, но они являются скорее второстепенными, в сравнении с тем же светом. С другой стороны, в условиях его недостатка, растение не сможет хорошо усвоить основные, нужные для развития элементы. Также свет выступает для растений в качестве источника энергии.

Растения реагируют на свет конкретных диапазонов разным образом. Уже давно установлено, что существует три основных спектра, необходимых для полноценного их развития, это: красный (600-700 нм) – отвечает за цветение и рост; синий (430-450 нм) – влияет на «зелень»; зеленый (500-550 нм) – переносит энергию к нижней части ствола. Также было установлено, что максимальная интенсивность фотосинтеза достигается у растений под воздействием красного света, однако если красный – это единственный источник света, то растения либо погибают, либо их развитие нарушается. Например, корейские исследователи [2] выяснили, что при освещении чисто красным светом, то масса выращенного салата больше, чем при освещении комбинации синего и красного, но количество полезных элементов, таких как: полифенолы, антиоксиданты и хлорофилл, значимо меньше.

Так какое освещение лучше всего подходит для выращивания растений как со стороны качества продукта, так и со стороны более эффективного использования энергетических ресурсов? Для ответа на этот вопрос нам нужно учесть основные параметры энергетической эффективности фитосвета. Во-первых, Photosynthetic Photon Flux (PPF), в микромолях на джоуль, т. е. в числе квантов света в диапазоне 400–700 нм, которые излучил светильник, потребивший 1 Дж электроэнергии; во-вторых, Yield Photon Flux (YPF), в эффективных микромолях на джоуль, т. е. в числе квантов на 1 Дж электроэнергии, с учетом множителя – кривой McCree. Второй параметр более выгодно использовать покупателям светильников, в свою очередь первый параметр более целесообразен для использования продавцами, так как PPF всегда получается немного выше, чем YPF (кривая McCree нормирована на единицу и в большей части диапазона меньше единицы).

В нынешних реалиях большинство крупных хозяйств, специализирующихся на выращивании растений при помощи искусственного света, применяют натриевые светильники. Из рис.1 видно, что их эффективность значительной степени зависит от мощности и достигает максимального значения при 600 Вт. В большинстве своем оптимистичное значение YPF натриевых светильников 600–1000 Вт составляет 1,5 эфф. мкмоль/Дж. В свою очередь натриевые светильники 70-150 Вт в полтора раза менее эффективны.

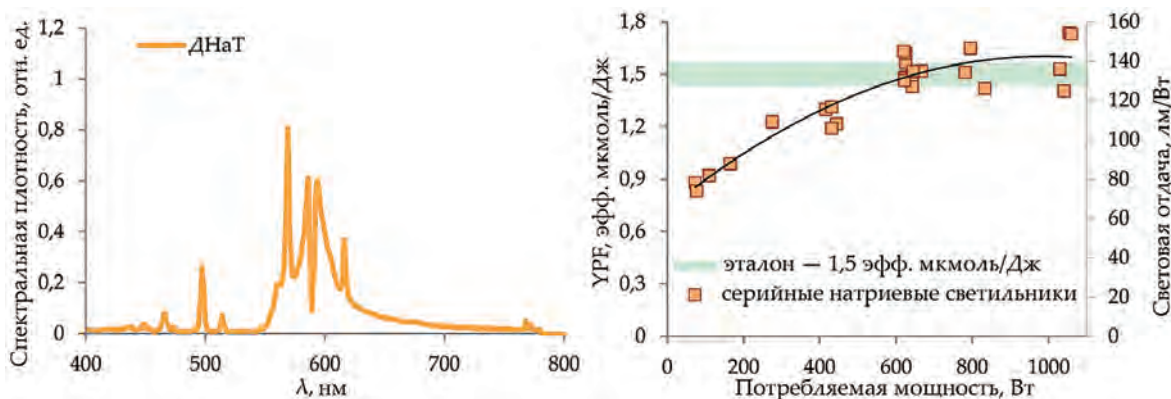


Рисунок 1 – Спектр натриевой лампы для растений (слева).
Эффективность в люменах на ватт и в эффективных микромолях серийных
натриевых светильников для теплиц марок Cavita, E-Parillon, «Галад» и «Рефлекс» (справа)

Большинство светодиодных светильников с эффективностью 1,5 эфф. мкмоль/Вт в приемлимую ценовом диапазоне – хорошая альтернатива для натриевого светильника.

Здесь мы не будем приводить спектров поглощения хлорофилла потому, что при обсуждении применения светового потока для растений, ссылаться на них некорректно. Хлорофилл *in vitro* поглощает исключительно синий и красный свет. В живой клетке свет поглощается во всем диапазоне 400–700 нм с последующей передачей его энергии хлорофиллу. Энергетическая эффективность света в листе определяется кривой «McCree 1972» (рис. 2).

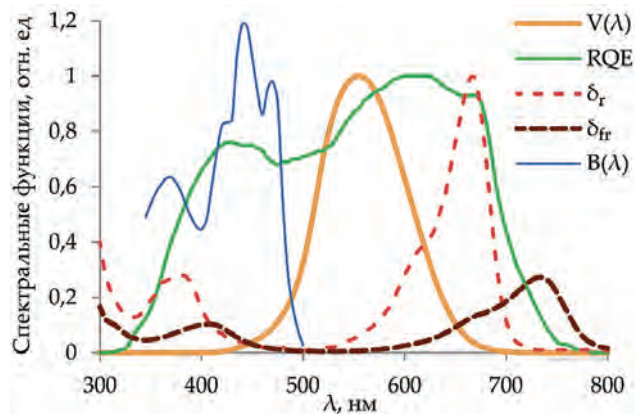


Рисунок 2 – $V(\lambda)$ – кривая видимости для человека; RQE – относительная квантовая эффективность для растения (McCree 1972); σ_r и σ_{fr} – кривые поглощения фитохромом красного и дальнего красного света; $B(\lambda)$ – фототропическая эффективность синего света [3]

Из рисунка видно, что эффективность в красном диапазоне раза в полтора выше, чем минимальная – в зеленом. А если эффективность сделать средней по сколько-нибудь широкой полосе, то разница станет еще меньше. На практике преобразование части энергии из красного диапазона в зеленый иногда может привести к усилению энергетической функции света. Зеленый свет может проходить на нижние ярусы через листья, при этом площадь поглощения света растением повышается, урожайность благодаря этому также повысится.

В работе [3] рассмотрен вопрос использования светодиодных светильников в качестве освещения для уменьшения потребления энергии при том же уровне качества продукта. Форма спектра светодиода с белым светом определяется: балансом коротких и длинных волн, связанным с цветовой температурой (рис. 3, слева) и степенью заполненности спектра, связанной с цветопередачей (рис. 3, справа).

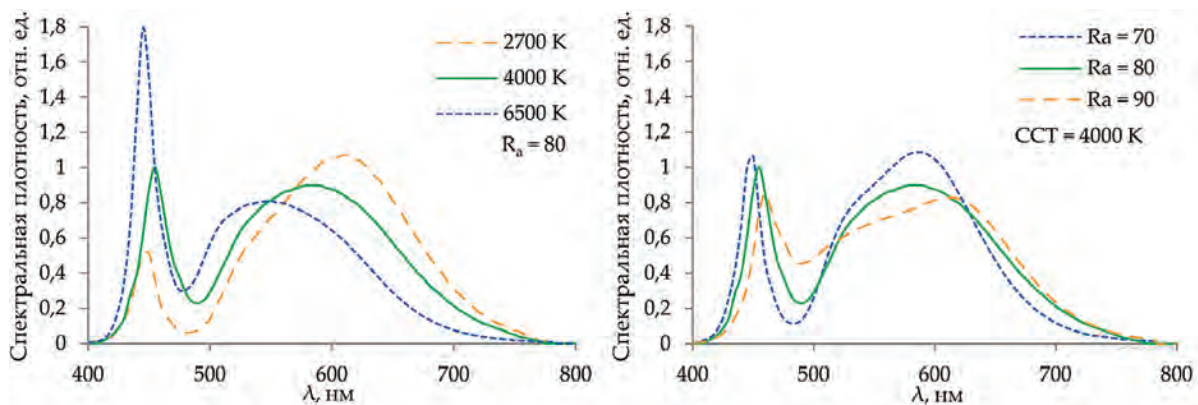


Рисунок 3 – Спектры белого светодиодного света с одной цветопередачей, но разной цветовой температурой КЦТ (слева) и с одной цветовой температурой и разной цветопередачей R_a (справа)

При рассмотрении белых диодов с одинаковой цветопередачей и цветовой температурой можно заметить, что между ними нету практически никаких отличий. Значит мы можем оценить параметры, зависящие от спектра, лишь по световой эффективности, цветопередаче и цветовой температуре.

По окончании анализа спектров белых светодиодов мы можем выделить несколько результатов.

Первое – это то, что у всех светодиодов с белым светом, даже с низкой цветовой температурой и с максимальной цветопередачей, в спектре мало дальнего красного (рис. 4).

В условиях естественной среды растения часто находятся в тени других, более массивных, в результате они получают больше дальнего, чем ближнего красного. Это вызывает у светлюбивых растений «синдром избегания тени» – растение тянется вверх. В пример можно взять помидоры. Они на этапе роста нуждаются в дальнем красном свете, для того чтобы вытянуться и в дальнейшем увеличить урожай. Следовательно, под натриевым светом и под белыми светодиодами ощущает себя под прямыми лучами солнца и вверх не тянется, что приводит к уменьшению урожая.

Второе – это то, что синий свет нужен для реакции «слежение за солнцем» или фототропизма – разворота листьев и цветов, вытягивание стеблей на синюю компоненту белого света. Фитоактивной синей компоненты в одном ватте потока белого светодиодного света 2700 K вдвое больше, чем в одном ватте натриевого света. При этом его доля в белом свете растет пропорционально цветовой температуре.

Третье – формула энергетической ценности света, определяемой по цветовой температуре и цветопередаче:

$$YPF = \frac{\eta}{100} \cdot \left(1,5 + \frac{35 \cdot Ra - 2360}{CCT} \right),$$

где η – световая отдача в лм/Вт, R_a – общий индекс цветопередачи, CCT – коррелированная цветная температура в градусах Кельвина.

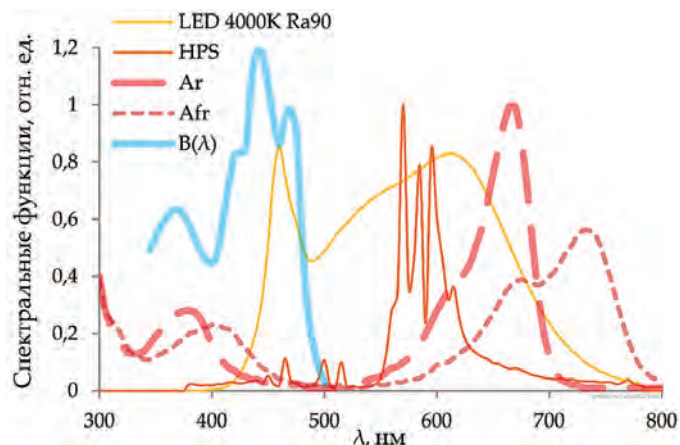


Рисунок 4 – Спектр белого светодиодного (LED 4000K R a = 90) и натриевого света (HPS) в сравнении со спектральными функциями восприимчивости растения к синему (B), красному (A_r) и дальнему красному свету (A_{fr})

Также примером значимости освещения в процессе роста растений служит один закон в экологии, являющийся фундаментальным. Это закон под названием «бочка Либиха». Согласно ему, если соблюдены все условия качественного развития, такие как вода, углекислый газ и минеральные вещества, но при этом интенсивность освещения соблюдается только на 40 % от нормы, то и растение в результате даст только 40 % от максимального урожая. Это можно проверить следующим способом.

Все реакции на изменение окружающей среды, будь то освещение, газообмен или поглощение питательных веществ можно определить в лаборатории с помощью специального оборудования. И если мы посмотрим реакцию некоторых растений на изменение длины волны (рис. 5), то увидим, что отсутствие какого-либо диапазона в свете может привести к результату схожим с «бочкой Либиха», то есть к ухудшению усвоения некоторых веществ, а в следствие ухудшению вкусовых качеств урожая, либо уменьшению его количества, либо к обоим этим результатам.

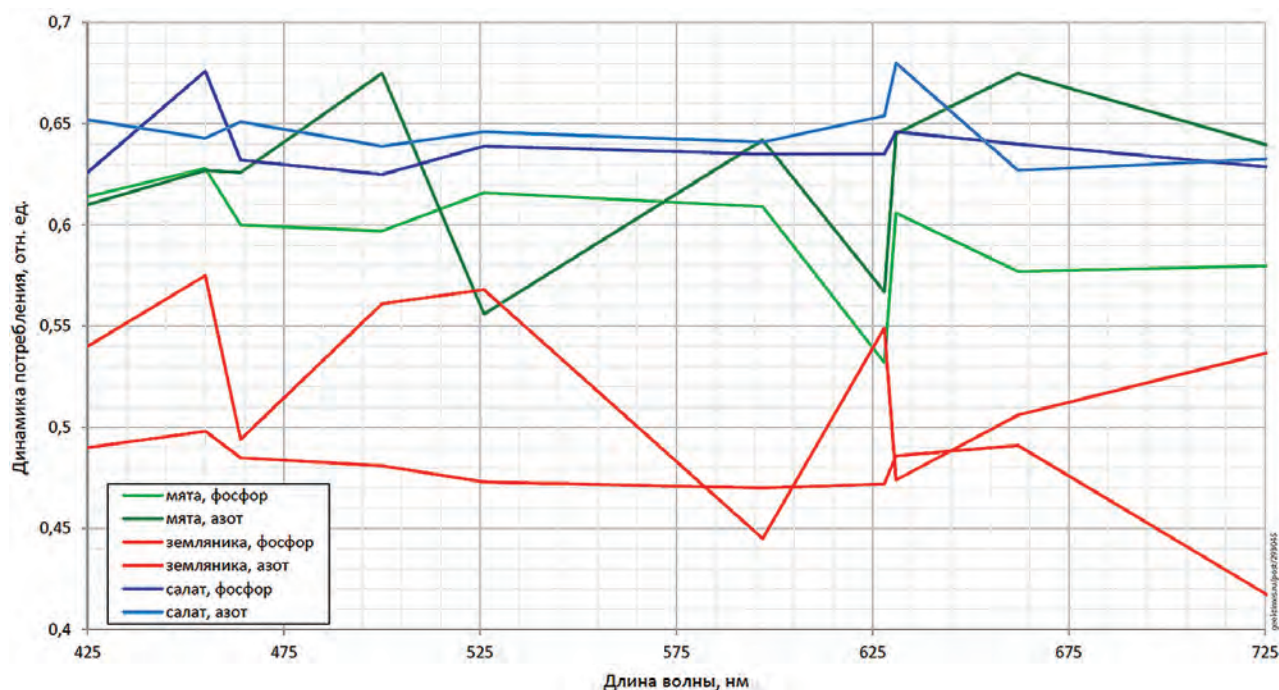


Рисунок 5 – Стимулирующая роль света для потребления азота и фосфора мятой, земляникой и салатом

Исходя из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что с точки зрения энергоэффективности специализированный красно-синий фитосвет и белый светодиодный свет не слишком различаются, но с точки зрения потребностей растений широкополосный свет показывает себя более полноценно, так как не ограничивает его в отдельных диапазонах, тем самым обеспечивает их в необходимых для роста и развития веществах. Благодаря этому урожайность и качество продуктов должно повысится.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулеш, О. Г. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность яровой пшеницы на высококультурной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, О. В. Симанков // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 2(65). – С. 72–84.

2. Son, K.H. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes / K.H. Son, M-M. Oh // HortScience. – 2013. – № 48(8). – С. 988–995.
3. Sharakshane, A. Whole high-quality light environment for humans and plants / A. Sharakshane // Life Sci Space Res. – 2017. – Nov; 15. – С. 18–22.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ СОЛЮБИЛИЗАЦИИ БУРОГО УГЛЯ STUDYING THE MICROBIOLOGICAL SOLUBILIZATION OF BROWN COAL

А. Э. Юницкий^{1,2}, И. Е. Лобазова¹, С. Н. Зыль², И. В. Налетов², В. С. Заяц²
A. Unitsky, I. Labazava, N. Zyl, I. Naletov, V. Zayats

¹ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Республика Беларусь
i.labazova@aet.space

²ЗАО «Струнные технологии» г. Минск, Республика Беларусь

¹LLC “Astroengineering Technology”, Minsk, Belarus

²Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

Современное технократическое потребление природных ресурсов ухудшает экологию Земли с каждым годом всё больше, в связи с чем перед учёными всех стран остро встаёт проблема разработки и использования экологически чистых и эффективных технологий. Для достижения этой глобальной цели разработана программа «ЭкоМир» и ведутся многочисленные исследования для её осуществления. В проведенной нами работе предложены обладающие рядом необходимых ферментов микроорганизмы – деструкторы бурого угля, показаны результаты их жизнедеятельности на различных питательных средах. Данная биотехнологическая конверсия является одной из перспективных «зелёных» технологий утилизации твёрдых углеотходов.

Modern technocratic consumption of natural resources worsens the ecology of the Earth every year more and more. The problem of development and use of environmentally friendly and efficient technologies is acute for scientists of all countries. To achieve this global goal has been developed the program EcoSpace and numerous studies are being conducted to implement it. In our study, we proposed microorganisms that destruct brown coal, which have a number of necessary enzymes, and show the results of their vital activity on various nutrient media. This biotechnological conversion is one of the promising «green» technologies for the utilization of solid coal waste.

Ключевые слова: программа «ЭкоМир», деструкция бурого угля, биоконверсия, биосолублизация.

Keywords: EcoSpace program, destruction of brown coal, bioconversion, biosolubilization.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-322-324>

В концепции программы «ЭкоМир» [1] лежит основополагающий тезис «Земля для жизни, Космос – для индустрии». Сотрудниками ЗАО «Струнные технологии» ведутся разносторонние исследования по различным отраслям науки и техники: разрабатываются транспортные технологии и проекты градостроительства, проводятся биологические эксперименты для замкнутых экосистем. Настоящая работа посвящена одному из таких направлений – экологически безопасной утилизации углеотхода – бурого угля.

По негативному воздействию на окружающую среду угольная промышленность занимает одно из ведущих мест среди отраслей топливно-энергетического комплекса, что обусловлено значительным объёмом отходов, получаемых от переработки углей [2].

В этой связи улучшение качества угля, его переработка с использованием экологически чистых и эффективных технологий являются весьма актуальными. Перспективным направлением в повышении энергетических и экологических характеристик ископаемых углей и углеотходов является биотехнологический метод его переработки.

Внедрение в процесс производства биотехнологических процессов соответствует требованиям экологически чистых и устойчивых «зелёных технологий». Одной из перспективных технологий утилизации твёрдых углеотходов, которая согласуется с основными экологическими тенденциями, а также концепцией [1], является технология микробной конверсии отходов угольных шахт с получением свободных гуминовых кислот, применяемых далее для органического земледелия.

В зависимости от способа биоконверсии бурого угля и используемых при этом групп микроорганизмов различают два основных технологических метода переработки – аэробный и анаэробный. В первом случае, за счёт подачи кислорода происходят окислительные процессы, обеспечивающие фракционную деструкцию, т. е. солублилизацию структуры бурого угля; во втором – протекают процессы, ведущие к формированию метана и углекислого газа в угольной суспензии.

Биодеградацию бурого угля можно условно разделить на две стадии:

– солюбилизация бурого угля и его перевод в более биодоступное состояние. Является лимитирующей, так как именно в ходе начальной солюбилизации сложнодеградируемые соединения переходят в растворимое состояние. Это происходит главным образом вследствие деструкции органических полимеров и полиядерных ароматических углеводородов по ферментативному механизму. Кроме того, при солюбилизации бурых углей работают щелочной и хелаторный механизмы, которые переводят более низкомолекулярные соединения в растворимую форму;

– транспортировка и включение растворённых соединений в метаболизм клеток. Продукты первой стадии, представляющие собой более биодоступные фрагменты с меньшим молекулярным весом, вовлекаются в метаболизм микроорганизмов и трансформируются до конечных продуктов.

Известно, что основными ферментами, участвующими в биодеградации угля, являются лигнинпероксидаза, Mn-пероксидаза и лакказы [3].

В случае с микроскопическими грибами клетки мицелия выделяют необходимые ферментные системы, которые воздействуют на субстрат (в данном случае бурый уголь), вызывая его деструкцию. Затем происходит полное или частичное поглощение продуктов деструкции клетками микроскопического гриба. Бактерии вырабатывают необходимые для разложения бурого угля ферменты во внешнюю среду и затем, как и грибы, поглощают образовавшиеся экзометаболиты; однако могут использовать и внутриклеточные механизмы деструкции.

Для настоящего исследования были отобраны микроскопический гриб *Trametes versicolor* и бактерии *Acinetobacter pittii*, *Enterobacter cloacae*, *Microbacterium sp.*, *Bacillus sp.*, обладающие необходимыми ферментными системами и/или агрономически ценными функциями, такими как фиксация азота, фосфатсолюбилизация и др.

Целью данной работы является выявление биодеградации бурого угля бактериями видов *Acinetobacter pittii*, *Enterobacter cloacae*, *Microbacterium sp.*, *Bacillus sp.*, а также анализ способности к биодеградации бурого угля микроскопического гриба *Trametes versicolor* индивидуально и совместно с бактериями *Bacillus sp.*

В качестве питательной среды была использована минеральная среда, содержащая K_2HPO_4 ; K_2HPO_4 ; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$; NaCl и CaCl_2 , а также бурый уголь в следующих пропорциях (к питательной среде): 0,5 %, 1,0 %, 2,0 %, 2,5 %, 5,0 %. В качестве контроля выступала среда без добавок угля, а в качестве положительного контроля – с добавлением 10 % пивного сусла (предполагается максимальный рост микроорганизмов). В ходе эксперимента определяли количество колоний, выросших на чашках – КМАФАнМ, КОЕ/г [4] – до начала эксперимента (обозначено как C_0) и через 2 недели (C_1), результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение концентрации бактерий в процессе их жизнедеятельности на питательных средах с бурым углём

Название микроорганизма	Контроль	ПС+0,5% БУ	ПС+1,0% БУ	ПС+2,0% БУ	ПС+2,5% БУ	ПС+5,0% БУ	Положительный контроль
<i>Acinetobacter pittii</i> - C_0^* , КОЕ/г	$2,5 \times 10^8$						
<i>Acinetobacter pittii</i> - C_1^* , КОЕ/г	1×10^6	1×10^9	1×10^9	1×10^9	1×10^{10}	1×10^{10}	$1,5 \times 10^{12}$
<i>Enterobacter cloacae</i> - C_0^* , КОЕ/г	1×10^{10}						
<i>Enterobacter cloacae</i> - C_1^* , КОЕ/г	5×10^9	5×10^{10}	$1,5 \times 10^{12}$	1×10^{10}	1×10^9	5×10^9	2×10^9
<i>Microbacterium sp.</i> - C_0^* , КОЕ/г	1×10^9						
<i>Microbacterium sp.</i> - C_1^* , КОЕ/г	5×10^7	1×10^{10}	$2,5 \times 10^{11}$	1×10^{12}	1×10^{10}	$7,5 \times 10^{11}$	$1,5 \times 10^{11}$
<i>Bacillus sp.</i> - C_0^* , КОЕ/г	1×10^8						
<i>Bacillus sp.</i> - C_1^* , КОЕ/г	1×10^{10}	5×10^{10}	8×10^{11}	1×10^{12}	3×10^{12}	5×10^{12}	2×10^{11}

ПС – питательная среда; БУ – бурый уголь

где C_0 – начальная концентрация МО, КОЕ/г. C_1 – конечная концентрация МО, КОЕ/г.

В выделенных цветом ячейках указана максимальная концентрация микроорганизмов в процессе их жизнедеятельности, свидетельствующая о потреблении бурого угля в качестве субстрата.

Как видно из представленных данных, можно говорить об использовании микроорганизмами органических соединений бурого угля в качестве источника углерода и, следовательно, о деструкции бурого угля. Наиболее перспективными микроорганизмами при биоразложении бурого угля являются *Bacillus sp* *Enterobacter cloacae* и *Microbacterium sp.*, КМАФАнМ *Enterobacter cloacae* и *Bacillus sp.* на питательной среде, содержащей 5 % бурого угля, и составляют 5×10^{12} КОЕ/г и 5×10^9 КОЕ/г, что выше, чем при выращивании с применением пивного сусла – 2×10^{11} КОЕ/г и 2×10^9 КОЕ/г, соответственно. Это может свидетельствовать об их эффективности при биодеградации бурого угля даже при наличии в составе питательной среды сахаров или о том, что максимум роста пройден и наступила стадия отмирания.

Кроме того, исходя из полученных результатов можно предложить ступенчатую технологическую схему деструкции: при повышенных концентрациях бурого угля (5 % и выше) осуществлять биоразложение с помощью бактерий рода *Bacillus*, после чего в процессе биодеградации бурого угля до содержания 1 % максимально эффективно использование *Enterobacter cloacae*, о чем свидетельствует максимальный рост этих микроорганизмов на средах с различной концентрацией углеотхода.

Далее исследовалась деструкция бурого угля грибом *Trametes versicolor* и бактериями *Bacillus sp.*, показавшими наилучший результат при биосольюбилизации. В качестве положительного контроля использована среда Сабура. В связи с тем, что период созревания мицелиальных грибов дольше, чем бактерий, наблюдение за экспериментом составило 6 недель, результаты которого представлены на рисунке 1.

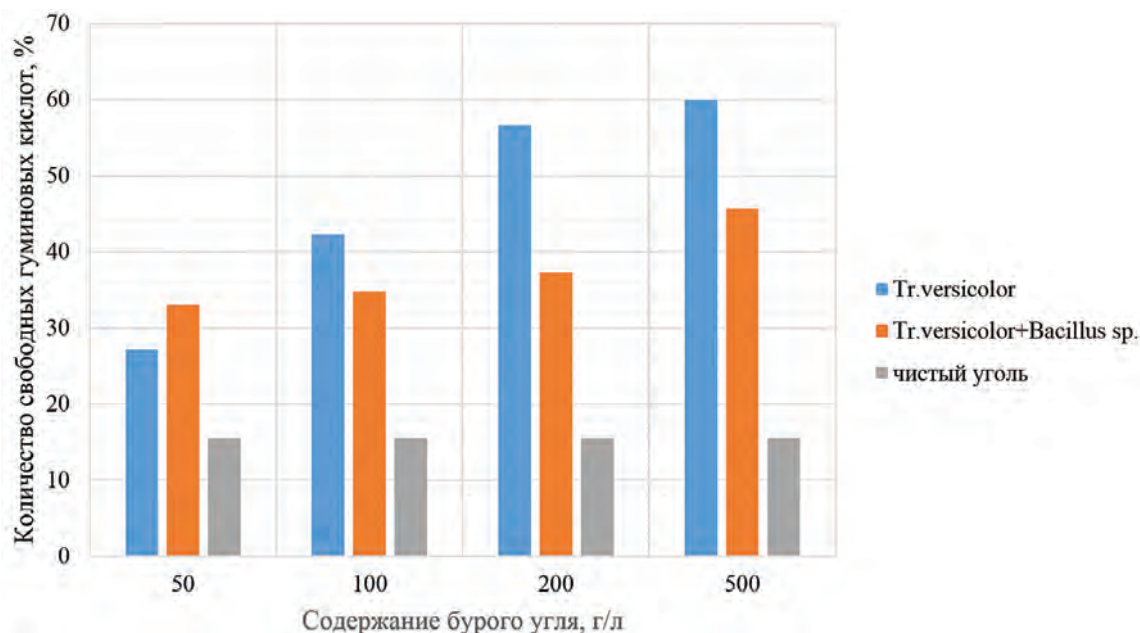


Рисунок 1 – Количество гуминовых кислот в образцах и исходном буром угле

В ходе эксперимента измерены:

- количество гуминовых кислот в буром угле питательной среды до и после культивирования по [5], результаты которых приведены на рисунке 1. Образующиеся в процессе биообработки бурого угля гуминовые кислоты являются промежуточным субстратом для жизнедеятельности микроорганизмов, в результате которой они превращаются в продукты с меньшей молекулярной массой;

- во всех образцах количество бактерий на начало опыта составляло 1×10^7 , по его окончании колебалось в пределах $1,1-1,2 \times 10^7$ КОЕ/г, что говорит о возможном подавлении роста *Bacillus sp.* микроскопическим грибом *Trametes versicolor*.

В процессе выращивания микроскопического гриба *Trametes versicolor* на минеральной среде, включающей бурый уголь в количестве 50 % (500 г/л), концентрация свободных гуминовых кислот в буром угле возросла более чем в три раза.

Деструкция чистой культурой гриба происходит активнее, однако уступает в скорости бактериям *Bacillus sp* *Enterobacter cloacae* и *Microbacterium*.

Таким образом, в ходе работы: а) подобраны микроорганизмы-деструкторы бурого угля и показана их эффективность при различном содержании полезного ископаемого в питательной среде; б) предложена ступенчатая схема с максимальной эффективностью сольюбилизации. Данные, полученные во втором эксперименте и демонстрирующие многократный прирост свободных гуминовых кислот, дают основания считать микроскопический гриб *Trametes versicolor* перспективным в качестве микроорганизма-деструктора бурого угля и потому требуют проведения дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, projects / Anatoli Unitsky. – Minsk : Gradient, 2021. – 567 с.
2. Ершова О.В. К проблеме улучшения экологической обстановки в районах углепользования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12–1. С. 19–22.
3. Sekhohola, L.M. Biological Degradation and Solubilisation of Coal / L.M. Sekhohola, E.E. Igbinigie, A.K. Cowan // Biodegradation. – 2013. – No. 24. – P. 305–318.
4. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов: ГОСТ 10444.15-94. – Взамен ГОСТ 10444.15-75; введ. 01.01.1996. – М.: Стандартинформ, 2010. – с. 312–317.
5. Топливо твёрдое. Методы определения выхода гуминовых кислот: ГОСТ 9517-94. – Взамен ГОСТ 9517-76; введ. 01.01.1997. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 9 с.

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

ENERGY AND TECHNOLOGY COMPLEX AS AN ENVIRONMENTAL PROBLEM SOLUTION FOR SOLID FUEL POWER PLANTS

А. Э. Юницкий, В. В. Янчук
A. Unitsky, V. Yanchuk

ЗАО «Струнные технологии»
г. Минск, Республика Беларусь
v.yanchuk@unitsky.com
Unitsky String Technologies Co.
Minsk, Republic of Belarus

На основе результатов проведённого в статье анализа предложено строительство электростанции на буром угле совместно с технологическим комплексом и тепличным хозяйством. Представленный подход позволяет обеспечить экологическую нейтральность процесса производства электрической энергии из ископаемого твёрдого топлива за счёт использования побочных продуктов одного процесса в качестве сырья для другого процесса.

On the basis of the review conducted in this paper a method of sub-bituminous coal power plant construction together with technological complex and greenhouses is proposed. This solution would ensure environmental safety of energy production from solid fossil fuel using byproducts of one technology as primary products for other processes.

Ключевые слова: угольная электростанция, энерготехнологический комплекс, бурый уголь, водоугольное топливо, экологическая безопасность.

Keywords: coal power plant, energy and technology complex, brown coal, water-coal fuel, environmental safety.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-325-328>

Доступность электрической энергии является одним из неотъемлемых условий комфортной жизни современного человека. Согласно [1, 2], прирост потребления электроэнергии в мире за последние 10 лет в 2 раза превышает аналогичный прирост численности населения планеты. В частности, в 2020 году в мире было произведено 25,9 тыс. ТВт·ч электроэнергии, что на 25 % выше аналогичного показателя за 2010 год, при этом общая численность населения планеты за аналогичный период выросла на 12,1 % (с 6916,8 до 7756,0 млн чел.).

В то же время, основным источником первичной энергии при производстве электроэнергии в мире до сих пор остаётся уголь, несмотря на достаточный уровень внедрения возобновляемых источников энергии (рис. 1). Так, в 2020 году доля угля, в том числе низкачественного, составила 33,8 % в общем производстве электроэнергии (на второй позиции находится природный газ с долей 22,8 % соответственно [1]).

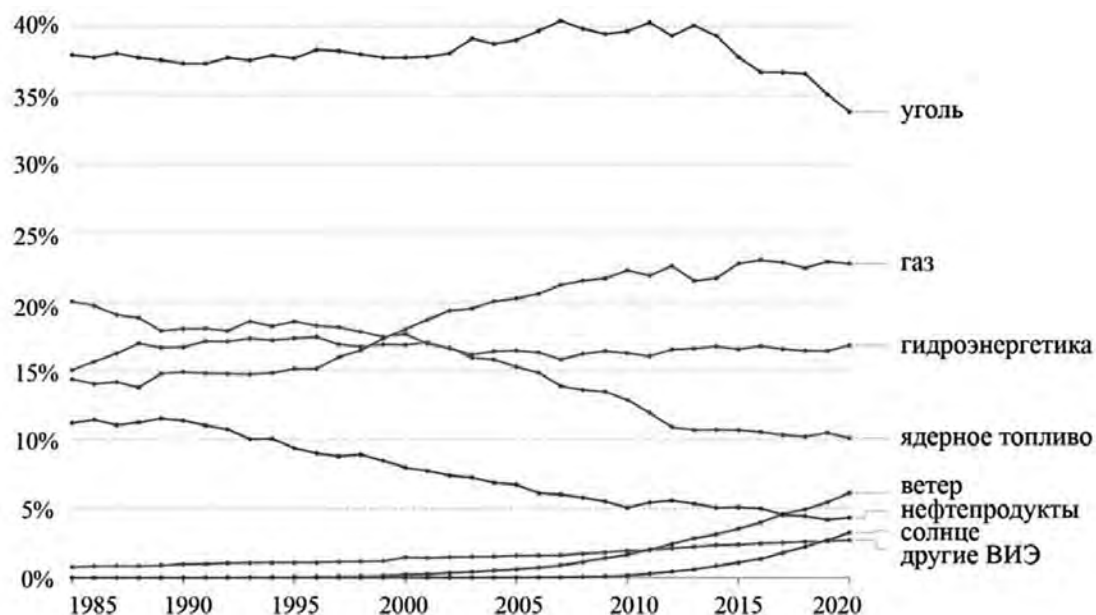


Рисунок 1 – Доли ресурсов в производстве электроэнергии в мире по годам [1]

Хотя доля угля в общемировом объёме производства снижается (см. рис. 1), общее количество добываемого и сжигаемого угля продолжает расти. Несмотря на незначительное снижение данного показателя за последние два года, в целом за период с 2010 по 2020 годы объем потребления угля в энергетике вырос на 6 % (рис. 2).

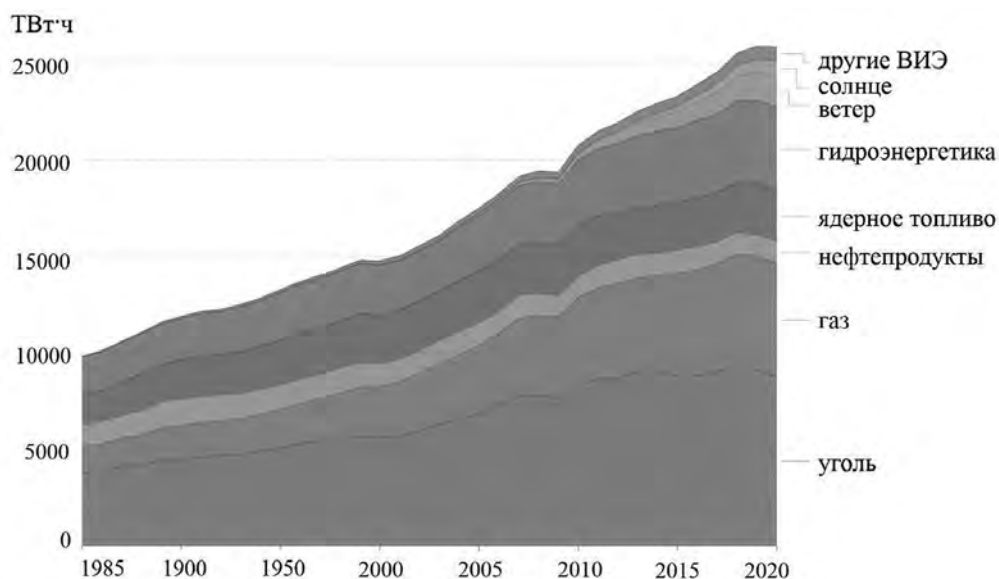


Рисунок 2 – Производство электроэнергии в мире за 1985–2020 гг. с разбивкой по источникам [1]

Общемировая практика показывает, что в энергетике преимущественно используются высококачественные угли, так как сжигание угля низкого качества имеет ряд недостатков. В частности, такие угли имеют более низкую теплоту сгорания, высокое содержание серы и влаги, что требует особых подходов к сжиганию и хранению, а также влечёт за собой рост транспортных расходов по сравнению с высококалорийными углями, так как для получения того же количества энергии требуется большее количество топлива. В этой связи зачастую такие месторождения не разрабатываются.

Также следует отметить, что общие разведанные запасы углей на планете на конец 2020 года составляют 1074 млрд т, при этом доля низкокачественного бурого угля составляет около 35% в общем количестве мировых запасов угля [3]. Данный факт, а также низкая стоимость и практически повсеместная доступность бурых углей позволяют рассматривать их в качестве источника энергии, главным образом вблизи месторождений исходя из экономических соображений.

С учётом вышесказанных фактов, строительство электростанций на буром угле позволит получать энергию из низкокачественного неэнергетического топлива с более низкой себестоимостью. При этом, рассматривая вопрос строительства угольных электростанций, особое внимание необходимо обратить на экологические составляющие подготовки и сжигания топлива, а также утилизацию твёрдых и газообразных продуктов сгорания угля.

В частности, в качестве топлива предлагается использовать водоугольное топливо (ВУТ), которое имеет ряд преимуществ перед традиционным сухим измельчением и сжиганием. При подготовке ВУТ предлагается применять метод гидроударного дробления, при котором размер твёрдых частиц угля в суспензии составляет 30...150 мкм. Кроме того, возможно использование метода электрогидроударного дробления, позволяющего получать соизмеримый размер твёрдых частиц [4]. Получаемая с помощью таких методов фракция значительно меньше, чем в варианте с сухим дроблением, что при сгорании обуславливает значительно более низкие показатели механического недожога топлива. Вследствие этого при прочих равных условиях снижается расход исходного угля. Также результаты экспериментов показывают снижение образования оксидов азота, углерода и серы в процессе горения по сравнению со слоевым сжиганием [5].

Необходимо отметить, что метод мокрого дробления по сравнению с сухим требует повышенного расхода электроэнергии. Однако, зачастую такой вывод основан на показателях работы шаровых мельниц высокой производительности, удельный расход электроэнергии на которые составляет 33–48 кВт·ч/т готового продукта. Вместе с тем, при использовании гидроударной технологии дробления данный показатель не превышает 10 кВт·ч/т.

Кроме того, значительным преимуществом использования ВУТ является отсутствие пыления в процессе его приготовления, что позволяет снизить требования к взрывозащищённому исполнению оборудования, расположенному в цехе топливоприготовления.

Также существуют некоторые особенности сжигания и воспламенения ВУТ, однако многочисленные исследования подтверждают возможность его горения без подсветки легковоспламеняющимся топливом (для этих целей требуется лишь особая конструкция топки и горелки).

Отдельно необходимо отметить тот факт, что угольные станции являются самыми экологически небезопасными из всех тепловых станций на органическом топливе, в связи с чем особенное внимание следует уделять выбросам с дымовыми газами, а также твёрдому остатку сжигания угля.

Как уже было отмечено выше, при работе станции на ВУТ качество сжигания улучшается, однако, даже уменьшенное количество вредных веществ в продуктах сгорания не позволяет называть станцию экологически нейтральной. В связи с этим предлагается строительство энерготехнологического комплекса совместно с тепличным хозяйством, что позволит утилизировать даже углекислый газ. Структурная схема такого комплекса представлена на рис. 3.

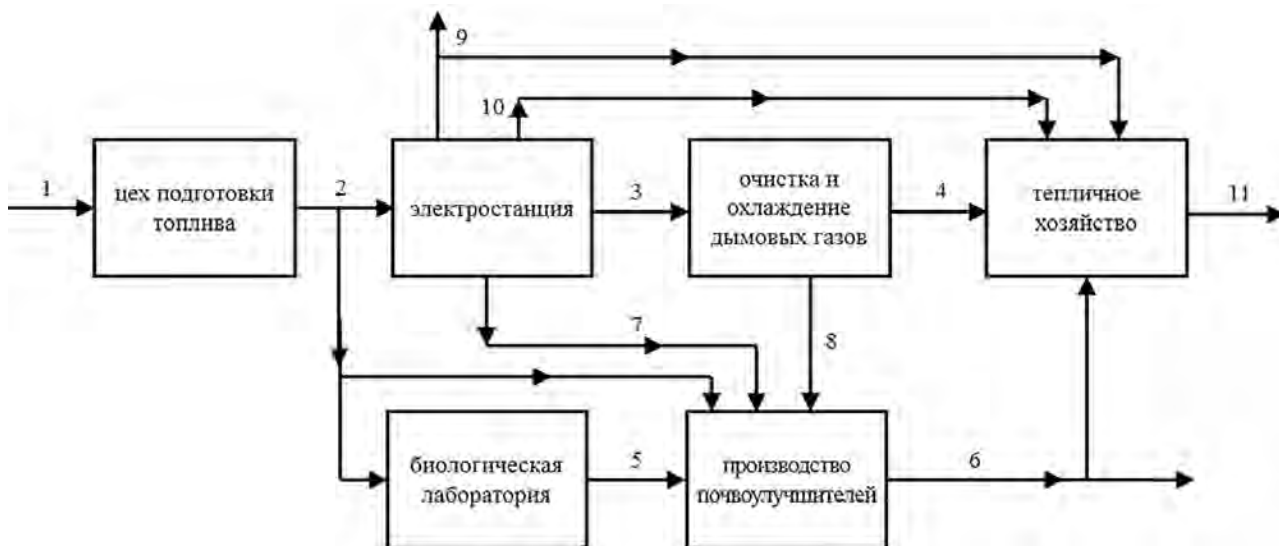


Рисунок 3 – Структурная схема энерготехнологического комплекса с тепличным хозяйством
(1 – низкокачественный уголь, 2 – водоугольная суспензия, 3 – дымовые газы, 4 – очищенные дымовые газы, 5 – специализированные микроорганизмы, 6 – почвоулучшитель, 7 – твёрдый остаток сжигания угля, 8 – шлам очистки дымовых газов, 9 – электроэнергия, 10 – тепловая энергия/холод, 11 – сельскохозяйственная продукция)

В таком комплексе моделируется безотходное производство электроэнергии. В частности, дымовые газы очищаются мокрым способом, шлам от их очистки затем используется при производстве почвенных улучшителей, так как содержит азото- и серосодержащие соединения. Зола, образующаяся при сжигании угля, после предварительной обработки также применяется как компонент почвоулучшителя, потому как содержит несгоревшие минеральные вещества (в данном пункте необходимо убедиться в радиационной безопасности привозимого топлива). В биологической лаборатории выращиваются микроорганизмы специализированного назначения, способные перерабатывать определённые группы веществ, а также необходимые для поддержания жизненного баланса почвы. Инокулянт на их основе – разработка сотрудников компании «Струнные технологии». При производстве почвоулучшителей по такой технологии происходит переход нерастворимых гуминовых веществ из угля в свободную форму, легко усваиваемую для растений. Для данной технологии наилучшим образом подходит именно низкокачественный уголь, имеющий более разнообразный микроэлементный состав. Выработанная электроэнергия при этом используется на сторонние нужды, а часть её идёт на дополнительную подсветку теплиц. Также станция вырабатывает тепловую энергию или холод в зависимости от сезона и географического размещения, при этом тепловая энергия используется для подогрева теплиц зимой, а холод – для их охлаждения в летний период. Очищенные дымовые газы, представляющие собой смесь азота, углекислого газа и – в малом количестве – кислорода, подаются в теплицы для повышения концентрации углекислого газа, что также способствует улучшению роста растений и повышению их продуктивности.

Таким образом, предлагается вариант компоновки угольной электростанции, которая не наносит ущерба экологической обстановке в районе размещения станции. Такой подход позволяет использовать бурый уголь в качестве топлива и организовывать чистое производство электрической энергии. Твёрдые и газообразные продукты сгорания топлива при этом используются в качестве компонентов при приготовлении почвоулучшителя и его использовании как непосредственно внутри комплекса, так и для сторонних потребителей. «Отходами производства» электрической энергии в данном случае являются овощи, фрукты и почвоулучшитель.

Следующими шагами в направлении развития представленного концептуального подхода являются: детальная проработка каждого блока представленной на рис. 3 схемы; расчёт баланса материальных потоков с учётом рекомендуемых параметров; согласование всех технологических процессов во времени; строительство экспериментального комплекса и отработка безотходной технологии. В части энергетики в настоящее время специалистами ЗАО «Струнные технологии» (Unitsky String Technologies Inc., Республика Беларусь) ведутся работы по отладке процесса горения ВУТ, а также подбору параметров оборудования при строительстве в различных климатических условиях.

Предложенный комплекс не имеет ограничений относительно климатического района размещения, и тепличный комплекс можно обеспечить как системой отопления, так и системой охлаждения. Готовую продукцию

при этом также можно получать в различном виде: свежие овощи и фрукты или различные варианты их переработки. Значительным преимуществом при выборе места строительства электростанции представляется близость месторождений угля, что позволит улучшить технико-экономические показатели проекта, повысить эффективность его создания и функционирования в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Electricity mix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ourworldindata.org/electricity-mix#fossil-fuels-what-share-of-electricity-comes-from-fossil-fuels>. Дата доступа: 22.02.2022.
2. Население Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://countrymeters.info/ru/World#population_clock. Дата доступа: 26.02.2022.
3. Statistical review of world energy 2021 – London. Statistical Review of World Energy? 2021. – 70th edition. – 72 p.
4. Францкевич Н.В. Перспективы применения электрогидродарной установки, для диспергирования бурого угля, в процессе производства водоугольного топлива / Н.В. Францкевич, А.В. Францкевич, А.Э. Юницкий, С.А. Арнаут // Энергетика Беларуси – 2021 : материалы Республиканской научно-практической конференции, Минск, 26 мая 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2021. – С. 181–184.
5. Филиппова Е.Н. Оценка эффективности применения водоугольного топлива в качестве альтернативы каменному углю / Е.Н. Филиппова // NovaInfo. – 2016. – №47. – С. 61–66.

СНИЖЕНИЕ ПОТОКОВ ОСНОВНЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В РАМКАХ ТРАНСПОРТНО-ИНФРАСТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ UST REDUCING MAIN GREENHOUSE GAS FLUXES IN UST TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE SOLUTIONS

А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский, Н. С. Зыль, И. В. Налёттов, А. М. Павлюченко
A. E. Unitsky, S. V. Artyushevskiy, N. S. Zyl, I. V. Naletov, A. M. Pavljuchenko

ЗАО «инжиниринговая компания ЮСТ», г. Минск, Республика Беларусь
a.pavlyuchenko@unitsky.com

Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Republic of Belarus

В статье описаны основные преимущества струнного транспорта Юницкого (UST) над традиционными транспортными системами, в том числе применительно к экологической составляющей. На примере проведенного исследования представлено, каким образом применение струнного транспорта позволяет уменьшить естественные потоки CO₂, CH₄ и N₂O с за счёт использования подпутевого почвенного покрова для выращивания растений и сельскохозяйственных культур, на примере высадки подсолнечника клубненосного.

The article describes the major advantages of Unitsky String Transport (uST) over traditional transport systems, including as related to the environmental component. The example of the study describes in which way string transport allows to reduce the natural fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O thanks to the under-track-structure soil cover allocated for growing plants and agricultural crops, as illustrated by the example of planting Jerusalem artichoke.

Ключевые слова: инжиниринговая компания ЮСТ, струнный транспорт, потоки CO₂, CH₄, N₂O, изменение климата.

Keywords: Unitsky String Technologies Inc., string transport, CO₂, CH₄, N₂O fluxes, climate change.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-328-332>

Развитая транспортная инфраструктура в значительной степени определяет инвестиционный потенциал стран (регионов) и является одним из важнейших факторов развития, который стимулирует экономику, товарооборот, развитие и внедрение технологий, увеличивает благосостояние в целом. Однако уже на этапе строительства автомобильных дорог и железнодорожных путей проявляются негативные аспекты, значительно ухудшающие окружающую среду. Например, при покрытии природной поверхности искусственным дорожным полотном происходит преобразование естественного покрова в искусственную поверхность, что приводит к уничтожению произрастающей растительности, изменению рельефа и гидрологии почв, миграции диких животных и т.д. Перечисленные факторы увеличивают природные потоки основных парниковых газов (углекислого газа и метана), которые вместе с выхлопными газами движущегося транспорта оказывают критическую нагрузку на климат, что проявляется в повышении среднегодовых по планете температур, таянии ледников, окислении вод мирового океана и гибели экосистем в целом.

На сегодняшний день среди существующих на рынке транспортных систем с точки зрения экологической составляющей ряд очевидных преимуществ имеет струнный транспорт Юницкого (UST). В отличие от традиционных транспортных решений, в которых передовые экологические разработки интегрируются и вынуждены приспосабливаться к имеющимся конструктивным и техническим особенностям, комплексы UST изначально разрабатываются с учётом всех актуальных мировых требований [1]. Данная транспортная система представляет собой струнную рельсовую путевую структуру на опорах, по которому осуществляют движение рельсовые электромобили (рис. 1), которые благодаря простоте конструкции (отсутствие массивных приводов, мощных рам, тяжёлых ходовых тележек и колёсных пар) отличаются низким расходом конструкционных материалов на изготовление и не требуют значительных затрат на их производство.

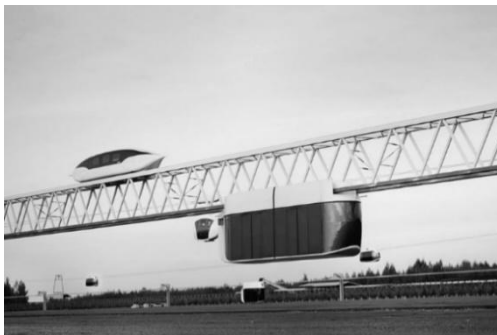


Рисунок 1 – Различные типы подвижного UST (ЭкоТехноПарк, г. Марьино Горка, Беларусь, 2020 г.)

Ключевой особенностью системы являются преднапряжённые элементы – струны, которые находятся в корпусе рельса и натянуты для обеспечения повышенной несущей способности пролётных строений и компенсации температурных деформаций [2]. Благодаря такому натяжению струнных рельсов, неразрезной по длине конструкции путевой структуры и отсутствию деформационных температурных швов на транспортную эстакаду расходуется незначительный объём строительных материалов. Сами струны жёстко прикреплены к анкерным опорам, установленным с шагом 3–5 км, а путевая структура поддерживается промежуточными опорами, размещёнными через 50–500 м и более, что обеспечивает минимальный объём земляных работ и землеотвод под строительство путевой структуры, не нарушает гидрологию почв (движение поверхностных и грунтовых вод), как это происходит при строительстве автомобильных и железных дорог. При этом сохраняется ландшафт под эстакадой путевой структуры, так как не нужно прокладывать дорогу по поверхности земли, что исключает необходимость создания земляных насыпей, выемок, тоннелей, мостов, путепроводов, многоуровневых развязок и водопропускных сооружений, а также предоставляет возможность упрощённого совмещения транспортной системы с воздушными и кабельными линиями электропередач и линиями связи [3]. Кроме того, сохраняются пути миграции диких животных.

Таким образом, за счёт уменьшения ресурсоёмкости, малого энергопотребления и упрощённой интеграции с линиями электропередач и связи, UST уже на данном этапе позволяет сокращать экологическую нагрузку в сравнении с традиционными видами транспортных систем. Также существенным преимуществом является сохранение естественного почвенного покрова, на котором можно развивать сопутствующую инфраструктуру либо использовать их для развития сельского хозяйства. В результате, одним из эффективных вариантов использования земельного покрова с целью уменьшения выбросов парниковых газов является высадка растений и сельскохозяйственных культур (рис. 2).



Рисунок 2 – Вариант использования ЗАО «Струнные технологии» земельного покрова под рельсо-струнной транспортной эстакадой (ЭкоТехноПарк, г. Марьино Горка, Беларусь, 2021 г.)

В частности, в этой связи в рамках проводимого исследования был рассчитан эффект снижения выбросов основных парниковых газов на примере подсолнечника клубненосного, или топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) как одного из возможных вариантов внедряемых агрокультур.

Для исследования влияния выращивания топинамбура на потоки парниковых газов как процесса снижения отрицательного воздействия на климат предпочтение было отдано камерному методу как наиболее эффективному и простому в реализации, позволяющему локализовать исследуемый объект как источник обмена и точно измерить потоки CO_2 , CH_4 и N_2O [4]. В частности, в марте 2021 года на базе ЗАО «Струнные технологии» была оборудована измерительная площадка с тремя установленными почвенными рамками, на которых с помощью закрытых эмиссионных камер (тёмных и прозрачных) измерялись потоки концентраций CO_2 , CH_4 и N_2O .

Углекислый газ определялся в режиме реального времени с помощью инфракрасного газоанализатора LI-820 LI-COR, газовые пробы метана и закиси азота определялись на газовом хроматографе «Кристалл 5000.1» («Хроматэк», Россия) с электрозахватным (ECD) и пламенно-ионизационным (FID) детекторами. Условия определения: газ-носитель – гелий марки А, расход газа носителя – 30 мл/мин, расход водорода – 25 мл/мин, расход воздуха – 250 мл/мин, колонки – насадочные, металл, 2 мм внутренний диаметр, длина 3 м, сорбент Hayesep Q (80/100), температура колонок – 80 °С, температура испарителей – 150 °С, температура детекторов – 200 и 280 °С. Калибровка хроматографа производилась по газовым стандартам на воздушном балансе в начале, через 12 проб и в конце измерений.

Измерения CO_2 проводились от рассвета (минимальная величина PAR) до пикового значения PAR в 12–14 часов в ясные дни, с минимальной облачностью. При измерении CO_2 эмиссионную камеру предварительно проветривали до равновесной концентрации углекислого газа в камере и атмосфере. Далее открытым основанием камера устанавливалась на рамку минимум на 3–5 минут, образуя герметичную систему, чего было достаточно для получения необходимого объёма данных для статистического обоснования достоверности результатов.

Концентрация CO_2 в камере измерялась с интервалом в 5 секунд, также каждые 5 секунд автоматически записывались время, температура внутри и снаружи камеры, PAR и порядковый номер измерения. Время экспозиции одного измерения зависело от скорости потока, но не превышало 10 минут, т. к. после этого времени в камере устанавливается равновесная концентрация CO_2 и искажается оценка потока. Для каждого измерения необходимы стабильные условия (амплитуда температур внутри камеры в пределах 1,5 °С, динамика PAR – не более 10 %). По окончании измерения запись данных отключалась, снималась и заново проветривалась камера.

При измерении потоков метана и закиси азота камера аналогичным образом устанавливалась на рамку открытым нижним основанием. Поток определялся по скорости изменения концентрации газов внутри камеры. Для этого из внутреннего пространства камеры через равные промежутки времени отбирались пробы воздуха в предварительно провакуумированные герметичные колбы (60 мл). За одно измерение отбиралось по 5 проб с интервалом в 5 минут, при этом параллельно фиксировались все температуры и давление.

Скорости потоков CO_2 , CH_4 и N_2O рассчитывались по закону идеального газа, основанному на изменении концентрации со временем в камере. Статистический анализ данных проводился с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel и TableCurve 2D. Скорости потоков метана и закиси азота и их статистическая обработка проводилась в программной среде R© с использованием пакета «Flux» и «CaTools». Статистическая обработка данными необходима для исключения помех, происходящих из-за турбулентности и колебания давления, вызванные установкой камеры, а также от увеличения сатурации и микроклиматических эффектов от накрытия камерой площадки.

Измерения проводились на протяжении 5-х месяцев (с мая по сентябрь 2021 года), в то время как потоки основных парниковых газов в остальные месяцы условно принимали равными нулю. Для расчёта годовой динамики потока CO_2 учитывались все ежемесячные суточные измерения концентрации диоксида углерода с каждой почвенной рамки. Результаты наблюдений показали, что в мае преобладала эмиссия CO_2 (0,8 т/га в год), в июне наблюдалось значительное поглощение диоксида углерода (–4,4 т/га в год), которое достигло пика в июле (–5,9 т/га в год) и начало постепенно снижаться до –5,6 т/га в год в августе и –5,1 т/га в год в сентябре.

Суточные измерения CO_2 (рис. 3) проводились от рассвета; в июне в 5:40 наблюдалась эмиссия углекислого газа со скоростями 0,256, 0,263 и 0,255 г/м²/ч соответственно. В это время происходит плавное и равномерное увеличение как концентрации углекислого газа, так и потока фотосинтетически активной радиации. Зафиксированных величин PAR пока недостаточно для преобладания процесса фотосинтеза топинамбура над эмиссией углекислого газа. Однако уже в 6:15 наступает момент равновесия и его смещения при превышении величины PAR в 152 $\mu\text{моль/м}^2/\text{с}$ концентрация углекислого газа начинает снижаться. Далее при увеличении потока фотосинтетически активной радиации происходит ещё более интенсивное поглощение CO_2 со скоростями –0,713, –0,703 и –0,720 г/м²/ч.

На исследуемых площадках с мая по сентябрь эмиссия метана (рис. 4) была незначительной. Полученные сведения объясняются тем, что данные площадки подверглись воздействию со стороны человека и в результате почва стала более насыщена кислородом, вследствие чего доминирование окисления метана превратило данную территорию в незначительные стоки атмосферного метана.

Учитывая низкие количественные значения естественной эмиссии закиси азота, время для исследования было подобрано с учётом того, чтобы оно совпадало с условиями, при которых возможен максимальный поток данного парникового газа (после резких возрастных уровней грунтовых вод в сочетании с устойчивой температурой и высокой влажностью) [5]. Тем не менее, потоки N_2O на исследуемых площадках были незначительны (рис. 5) и находились в области фонового значения (331,1 молекул на миллиард).

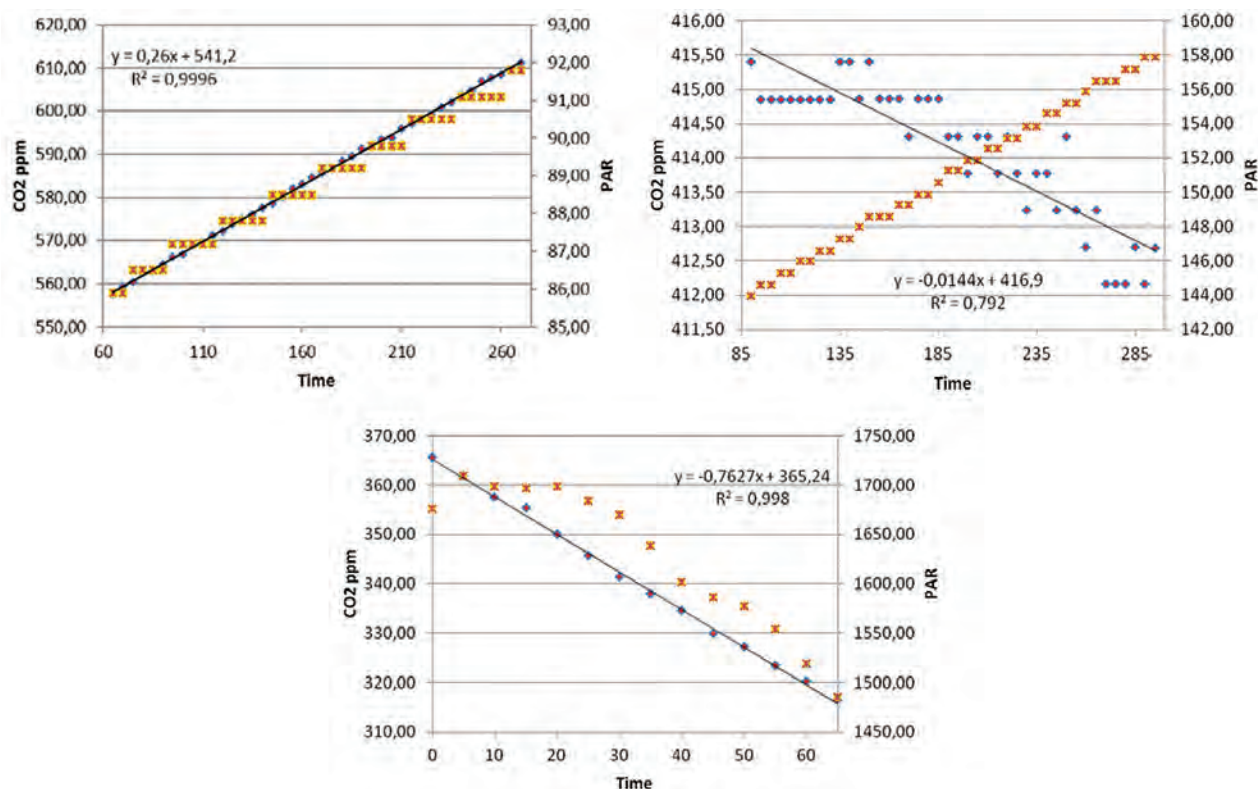


Рисунок 3 – Динамика потоков CO_2 топинамбура (точками отмечена концентрация CO_2 , символом «ж» – PAR)

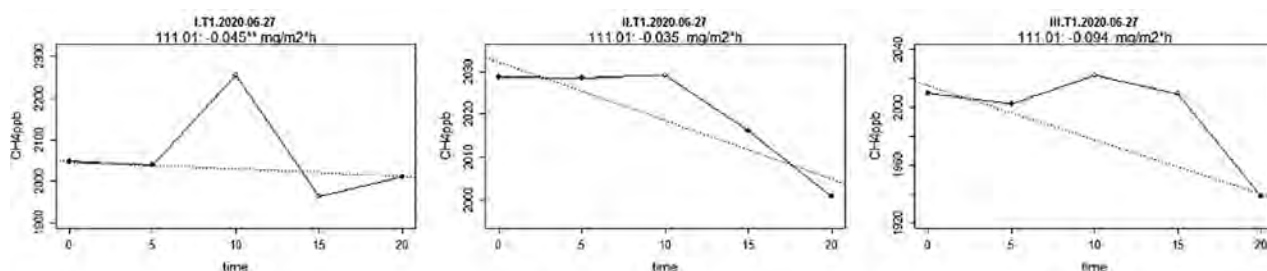


Рисунок 4 – Динамика эмиссии метана

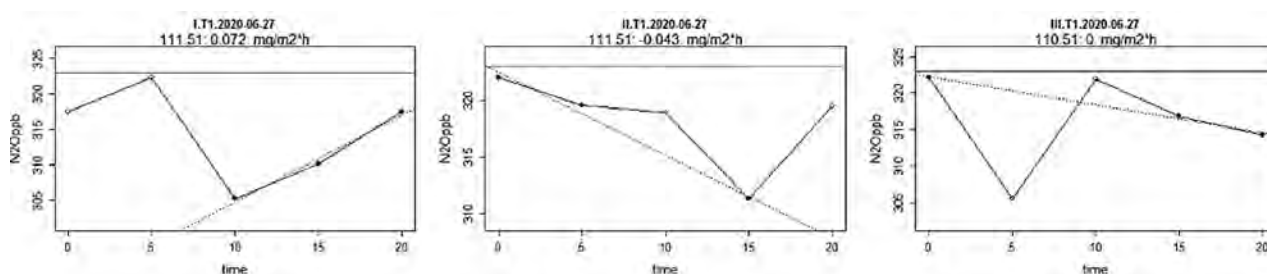


Рисунок 5 – Динамика эмиссии N_2O

Таким образом, струнный транспорт Юницкого (UST), характеризующийся передовыми конструктивными особенностями и техническими решениями, низкой ресурсоёмкостью и энергозатратностью, позволяет сохранять естественный земельный покров, который может использоваться для выращивания агрокультур. На примере рассмотренной агрокультуры – топинамбура – обеспечивается поглощение около 4 т/га в год (что соответствует 1 км протяжённостью дороги) CO_2 , при этом не загрязняется окружающая среда и не увеличиваются естественные потоки CH_4 и N_2O , что является благоприятным фактором для климата и экологии в целом.

Рассмотренный инновационный вид транспорта не нарушает природное пространство и в том числе позволяет сохранить естественные пути миграции диких животных. В результате, местность, через которую проходят рельсо-струнные дороги, может использоваться для ведения органического сельского хозяйства, что, в свою очередь, создаёт минимальную экологическую нагрузку на биосферу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юницкий, А. Э. Экологические аспекты струнного транспорта / А. Э. Юницкий, М. И. Цырлин // Инновационный транспорт. – 2020. – № 2. – С. 7–9.
2. *Unitsky A. String Transport Systems: On Earth and in Space* / A. Unitsky. – Silakrogs, PNB Print, 2019. – 560 p.
3. Юницкий, А. Э. Безопасность путевых структур второго уровня на примере рельсо-струнных транспортных систем Юницкого / А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 4 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 69–72.
4. *Drösler, M. Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany.* – 2005. – 182 p.
5. Кудяров, В. Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России / В. Н. Кудяров // Агрохимия. – 2019. – №. 12. – С. 3–15.

УТИЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

PLASTIC WASTE UTILIZATION IN THE CONTEXT OF IMPROVING THE ENVIRONMENT

В. В. Плесканев^{1,2}, Е. В. Яблонский^{1,2}, Д. С. Мишляков^{1,2}, П. К. Шалькевич^{1,2}
V. V. Pleskanev^{1,2}, E. V. Yablonsky^{1,2}, D. S. Mishlakov^{1,2}, P. K. Shalkevich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

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

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены экологические аспекты утилизации пластика. Сформулированы условия, при которых возможно решение экологических проблем, связанных с переработкой и утилизацией пластмасс.

The environmental aspects of plastic recycling are considered. The conditions under which it is possible to solve environmental problems associated with the processing and disposal of plastics are formulated.

Ключевые слова: пластик, полимеры, экология.

Keywords: plastic, polymers, ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-332-335>

В современном мире пластик используется человеком во многих отраслях: приборостроение, электроника, автомобилестроение и авиация, потребительские товары, сельскохозяйственная и пищевая промышленности, химическая и медицинская отрасли. Это обусловлено относительной дешевизной и легкостью производства пластмасс, стойкости к перепадам температур и воздействию ультрафиолета, устойчивости к воздействию коррозии и длительным сроком службы [1].

Пластик является органическим материалом, состоящим из синтетических полимеров, который характеризуется эластичностью и прочностью. Эти характеристики под давлением и нагреванием способны образовывать после охлаждения различные формы [2].

Согласно исследованиям самым распространенным видом пластикового мусора, который производит человечество, являются: одноразовая посуда, пакеты, упаковка, бутылки и различные емкости. Ежегодно только в Европе производят около 25 млн. тонн пластиковых отходов [3].

Виды пластика различаются по химическому составу, жесткости и жирности. Но главным фактором различия является поведение при нагревании [4]. Поэтому выделяют следующие виды пластмасс:

- термопласта – плавится при нагреве, при охлаждении принимает первоначальную форму;
- реактопласта – в процессе нагрева переходят в твердое нерастворимое состояние;
- эластомеры – вид пластмассы, обладающий высокоэластичными свойствами, присуща способность к обратимой деформации.

На основании изложенного выше, можно сделать вывод, что самым качественным видом пластика являются эластомеры.

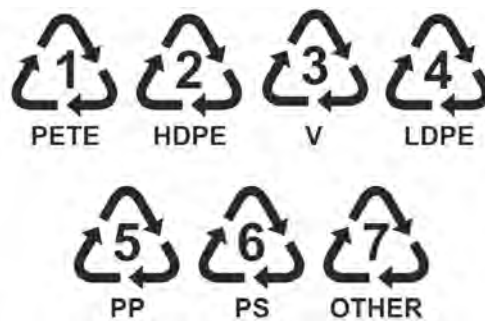


Рисунок 1 – Типы пластика

На сегодняшний день существует множество типов изделий из пластика [5]. Каждый из этих типов имеет свои преимущества и недостатки. Обозначается тип маркировкой-цифрой на упаковке изделия. Не промаркированный пластик в Республике Беларусь запрещен для использования.

Типы пластика:

1) PETE – полиэтилентерефталат; это самый распространенный вид пластмассы. Его используют для производства одноразовых бутылок, упаковки косметической продукции. Эластичный водонепроницаемый, ударостойкий материал. Может содержать фталаты - токсичные химические соединения. Не рекомендуется вторично использовать продукты содержащие полиэтилентерефталаты. Хорошо растворим в бензоле, толуоле, этилацетате, ацетоне, хлороформе, четыреххлористом углероде, метиленхлориде, метилэтилкетоне.

2) HDPE –полиэтилен с относительно высокой плотностью, жесткий тип пластика. Данный вид пластика имеет главное преимущество – практически не выделяет вредных компонентов, именно в нем рекомендуется хранить жидкость. Материал отличается прочностью, устойчивостью к маслам и другим элементам, малой прозрачностью. Не токсичен. При сжигании выделяется только углекислый газ, угарный газ, вода и немного сажи.

3) PVC – поливинилхлорид; относится к опасным видам пластика, так как выделяет токсичный газ из самой структуры материала. Материал отличается мягкостью и гибкостью. ПВХ применяется в строительной сфере, из него изготавливают трубы, натяжные потолки, линолеум, садовые шланги и детали для сантехники. Пластик не экологичен и только в некоторых странах может перерабатываться повторно. Разрушаясь при окислении и горении оказывает вредное воздействие.

4) LDPE – является полиэтиленом низкой плотности высокого давления. Чаще всего материал применяется для производства бутылок и пластиковых пакетов, пищевых упаковок, парниковых пленок, мусорных мешков. Бутылки не выделяют химические вещества, в то время как от покупки пакетов лучше воздержаться. Изделия содержат опасные для сердца человека соединения.

5) PP – полипропилен белого или полупрозрачного цвета. Отличительная особенность материала – термостойкость. ПП считается безопасным и не плавится при нагревании. Из полипропилена делают упаковочные материалы, пленки, ламповые патроны, ковры, термобелье и флисовую одежду, корпуса телевизоров, блоки предохранителей, некоторые автозапчасти и автомобильные бамперы, ингаляторы, одноразовые шприцы и другое пластиковое медицинское оборудование, которое требует стерилизации.

6) PS – полистирол, при термическом воздействии предполагает выделение опасных химических веществ. Как правило, его применяют для производства кофейных стаканчиков и емкостей для пищи. Особенности материала является доступная стоимость, легкий вес, прочный пластик.

7) OTHER – остальные виды пластика.

В рамках достижения цели улучшения экологической обстановки, предполагается сокращение производства пластиковых изделий и переход на альтернативные источники сырья. Для этого необходимо сократить количество производимого пластика и вторично использовать переработанный пластик. Более того, требуется тщательная сортировка пластиковых отходов. На первый взгляд может показаться, что такая политика поможет человечеству сделать важный шаг в сторону решения глобальных экологических проблем, однако такой тезис является спорным.

Для того, чтобы дать корректную оценку масштаба влияния выбросов пластмасс, производимых человеком, необходимо рассмотреть особенности производства пластиковых изделий [3]. В период с 1950 по конец 2010-ых годов было произведено около 6,3 млрд. тонн пластика, из них было переработано около 9 %, а сожжено – 12 %. С каждым годом за это время производство пластмасс только увеличивалось. По прогнозам ученых сокращение производства пластика в ближайшие 20 лет не предвидится. На сегодняшний день в странах Европейского союза перерабатывается только около 25–30 % пластика, в США – 8 %. Большая часть пластиковых отходов захоранивается на свалках [5]. При этом, заводы по производству пластиковых изделий ежегодно выделяют в атмосферу до 400 миллионов тонн углекислого газа. Огромное количество редких животных находится под угрозой вымирания из-за поедания и отравления пластиком. Кроме того, при использовании пластиковых изделий в организм человека попадает микро-пластик, который накапливается и может вызывать онкологические заболевания, задержки в развитии и эндокринные нарушения [1, 5].

Структура мирового рынка пластмасс в 2018 г., % от общего объема

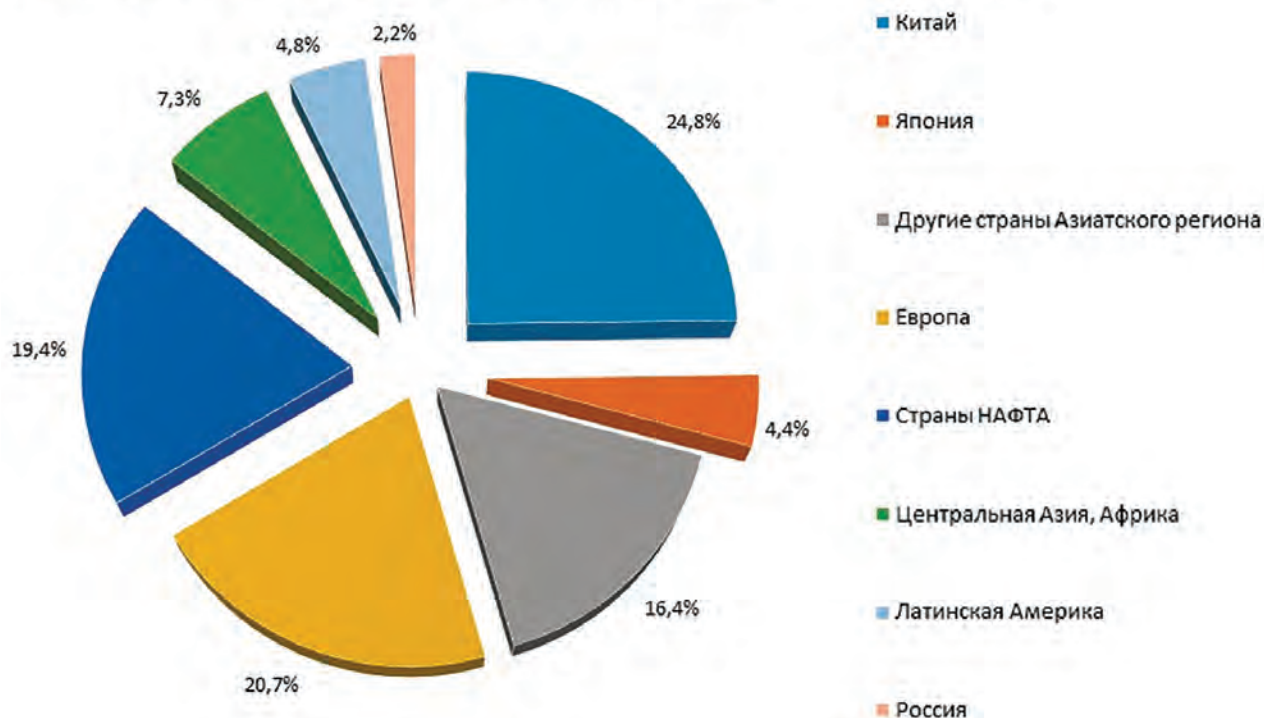


Рисунок 2 – Структура мирового использования пластмасс

С учетом того, что глобальные масштабы пластикового загрязнения практически перестали иметь границы, стоимость удаления пластика из окружающей среды будет непомерно высока. Для решения проблемы утилизации стоит сосредоточить внимание на правильной сортировке использованных пластмасс. Существует практика введения штрафов за выбросы мусора в неотведенные для этого места. В сетях розничной торговли проводятся мероприятия на государственном уровне по валоризации товара содержащих пластмассы. В пунктах сбора и переработки пластиковых изделий предоставляются многоразовые выплаты за сдачу определенного типа пластика. Имеет смысл внедрение новых технологий по утилизации пластиковых отходов: например, технологий переработки с помощью граммотрицательных бактерий из группы протеобактерий и нитчатых грибов, которые способны разлагать пластмассы и поглощать полиуретан, а также использовать катализаторы для ускоренного разложения пластмасс.

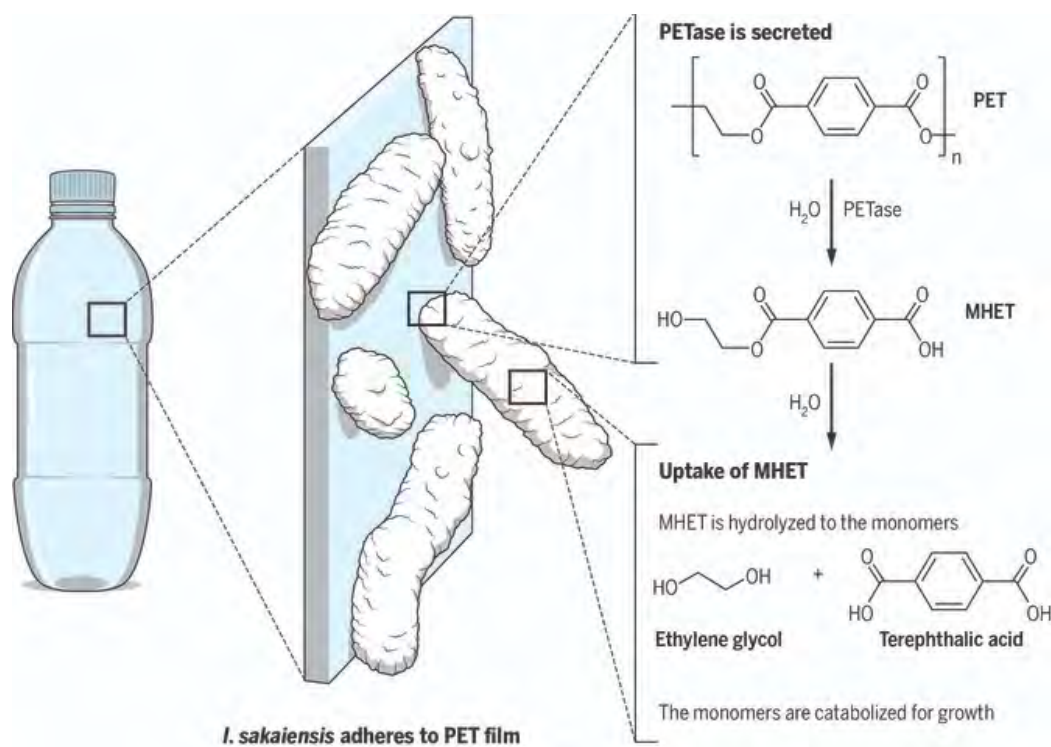


Рисунок 3 – Бактерии *sakaiensis* прилипают к ПЭТ пленке

В современном мире пластик используется ежедневно. К сожалению, непоправимый вред приносит данный продукт нашей природе и это влияет на экологическую ситуацию в мире [4,5]. Единственный выход из данной ситуации – правильно утилизировать пластиковые изделия. В таком случае можно не только уберечь природу, но и использовать полученное сырье вторично.

Таким образом, говорить о решении экологических проблем, связанных с утилизацией пластика, за счет прекращения производства пластмасс и повторном использовании переработанного пластика, можно лишь при соблюдении следующих условий:

- производство пластмасс обеспечивается вторичными источниками сырья (производство и переработка которых обретает в рассмотренном контексте особое значение [3]);
- негативное влияние производства, эксплуатации и утилизации пластиковых изделий на экологическую обстановку не превышает позитивного влияния на нее.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Потапова, Е.В.* Проблема утилизации пластиковых отходов / Е. В. Потапова // Известия Байкальского государственного университета. – 2018. – Т. 28, № 4. – С. 535-544.
2. *Бузова, О.В., Новикова В.О.* Переработка пластиковых отходов / О. В. Бузова, В. О. Новикова // Агентство международных исследований. – 2017. – С. 134–136.
3. *Венедиктов, Н.Л.* Пластические массы. Свойства, способы переработки, области применения / Н. Л. Венедиктов. – ТюмГНГУ, 2001. – 80 с.
4. *Волкова, А.В.* Рынок утилизации отходов / А. В. Волкова // М.: Национальный исследовательский университет : Высшая школа экономики. – 2018. – 87 с.
5. *Шишонок, М. В.* Современные полимерные материалы / М. В. Шишонок. – Минск : Вышэйшая школа, 2017. – 278 с.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИКА И ЕГО АЛЬТЕРНАТИВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ THE IMPACT OF PLASTIC AND ITS ALTERNATIVES ON THE ENVIRONMENT

Е. В. Шевцова^{1,2}, П. К. Шалькевич^{1,2}, Л. А. Липницкий^{1,2}

E. V. Shevtsova^{1,2}, P. K. Shalkevich^{1,2}, L. A. Lipnitski^{1,2}

¹*Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

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

¹*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

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

Рассмотрены экологические аспекты применения пластика в контексте внедрения и использования его альтернатив. Дана оценка современным трендам замены пластиковой упаковки её органическими альтернативами. Сформулированы условия, при которых использование альтернатив пластиковой таре является экологичным.

The environmental aspects of using plastic in the context of introduction and use of its alternatives are considered. Modern trends in replacing plastic packaging with its organic alternatives are assessed. The conditions are formulated when the use of plastic container alternatives are environmentally friendly.

Ключевые слова: пластик, экология.

Keywords: plastic, ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-335-338>

В современном мире многие экологи, занятые изучением вопросов улучшения экологической обстановки, приходят к выводам, что пластиковые отходы имеют строго негативное влияние на окружающую среду. Как следствие, экологи стараются найти замену пластику среди материалов, использование которых в отраслях жизнедеятельности человечества, будет оказывать меньше негативного влияния на окружающую среду. Однако подобный подход имеет ряд негативных с точки зрения экологической обстановки последствий: усложнение экологических процессов, расширение индустриальной инфраструктуры, необходимость решения вопросов утилизации материалов-

заменителей. Более того, такой подход, как правило, не решает вопросов, связанных с утилизацией уже накопившихся пластиковых отходов. Поэтому авторы предлагают альтернативный взгляд на обозначенную проблему.

Пластиковых отходов в мире огромное количество. В общей сложности от всех мировых отходов он составляет 80 %. По данным Всемирного фонда дикой природы (WWF) в мировом океане его более 280 тонн, а общее количество кусков пластикового мусора составляет более 5,25 трлн.

На первый взгляд, агитация экологов с призывами использовать меньше пластика в бытовых нуждах кажется весьма рациональной, ведь действительно, для покупок в магазине наиболее экологичным будет хлопковая сумка (шопер) или авоська, чем пластиковый пакет. Однако, стоит учесть, что такие замены являются наиболее углеродоемкими в производстве, они могут прослужить много лет, но требуют периодической стирки, которую в экологических целях стоит осуществлять строго вручную с использованием, опять же, экологичных моющих средств. При этом, не каждый человек будет иметь с собой такую сумку, а покупать каждый раз новую будет дорого и, возможно, не экологично. Конечно, существует еще и бумажная замена пластиковым пакетам, однако, при изготовлении бумажных пакетов в воздух выбрасывается на 70 % больше вредных веществ, чем при изготовлении пластиковых [1]. Следовательно, использование пластикового пакета для покупок кажется не таким уж и вредным для экологии по сравнению с предлагаемой заменой.

Важным доводом в пользу негативного влияния пластика на окружающую среду является то, что он не подлежит повторному использованию и не разлагается. Это касается, в основном одноразового пластика: упаковок, пакетов, бутылок и т.д. Они не подлежат повторному использованию, однако, делают жизнь лучше и проще. Во многих супермаркетах пластиковые пакеты заменяют на бумажные, но, к сожалению, они являются зачастую менее технологичными, чем пластиковые. Бумажные пакеты производятся из возобновляемых ресурсов, они способны самостоятельно разлагаться и подлежат вторичной переработке, но пластиковые пакеты являются более прочными, поэтому могут использоваться не однократно, также для их производства требуется меньше ресурсов, следовательно, с этой позиции, можно предположить, что пластиковые пакеты являются и более экологичными. Основным аргументом в пользу экологичности применения бумажных пакетов является их период разложения. В среднем бумага разлагается около двух лет, а пластик более 100 [2]. Цифры действительно существенно отличаются, но для того, чтобы разобраться в проблеме рассмотрим жизненный цикл бумажной и пластиковой упаковки.

Бумага состоит из древесной целлюлозы, воды и химических реагентов, а пластик из полимеров. Целлюлоза – это измельченная древесина и она требуется в больших количествах. Поэтому для изготовления бумажных пакетов потребуется вырубить много лесов, что также не является экологичным. Процесс производства бумаги начинается с обработки древесины, в большинстве случаев хвойных пород. Из лиственных используется только эвкалипт. Дерево состоит из целлюлозных волокон, связанных натуральным клеем – лигнином. Сперва его удаляют, что позволяет волокнам менять форму. Затем целлюлозу дробят и варят с гидроксидом и сульфидом натрия. После щелочной обработки добавляют диоксид хлора, чтобы отбелить массу. Каждый этап требует большого количества воды, в среднем, на один лист формата А3 уходит около 13 литров жидкости [3]. На рисунке 1 показаны объемы розничной торговли упаковочными материалами и среднегодовой темп их прироста в 2014–2019 гг.

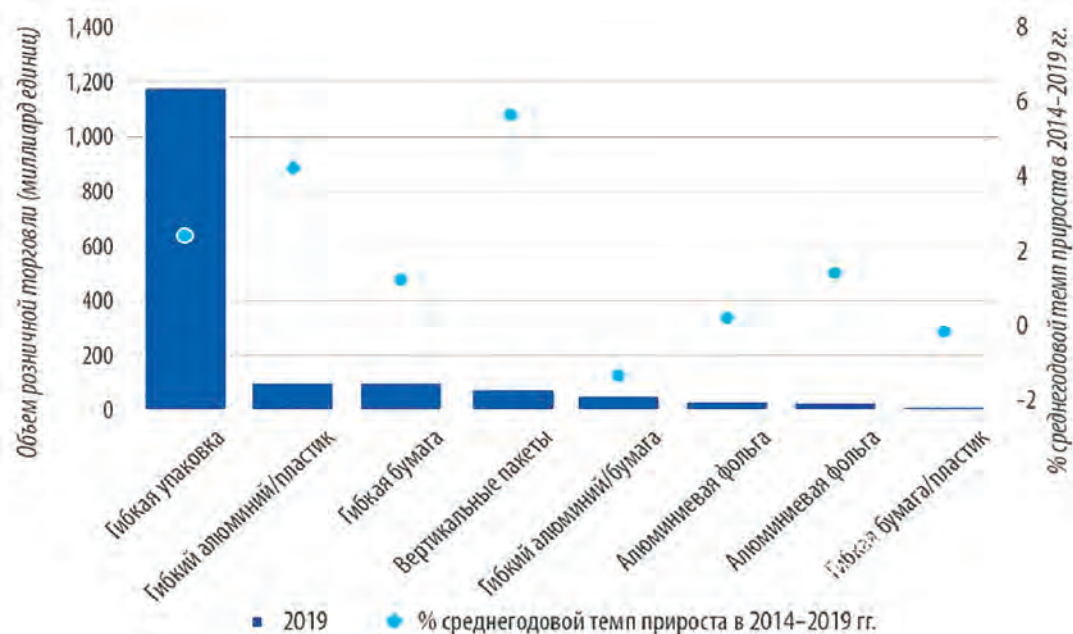


Рисунок 1 – Объемы розничной торговли упаковочными материалами и среднегодовой темп их прироста в 2014–2019 гг.

На рисунке 2 хорошо видна структура инфраструктурных затрат, связанная с изготовлением целлюлозно-бумажной альтернативы пластику в Республике Беларусь.



Рисунок 2 – Структура затрат на технологические инновации организаций целлюлозно-бумажного производства и издательской деятельности Республики Беларусь [3]

В мире ежегодно уничтожается более 100 млн. га леса, по размерам это сопоставимо с площадью Египта. В некоторых регионах вырубка приводит к исчезновению леса, из-за чего увеличивается объем углекислого газа в атмосфере, и возникает потеря биоразнообразия [4].

В настоящее время в мире используется более 400 миллионов тонн бумаги в год, однако если заменить пластик альтернативной бумагой, понадобится намного больше заводов по изготовлению и переработке целлюлозы, а они, в свою очередь, загрязняют окружающую среду. Загрязненные сточные воды целлюлозно-бумажных комбинатов убивают живущие в воде организмы, ведут к биоаккумуляции токсических соединений в рыбе, портят вкус питьевой воды в нижнем течении [5]. Также на строительство заводов уйдут годы и много расходов, в то же время пластик также и останется лежать в океане, а уже изготовленную продукцию, хранящуюся в пластиковых упаковках придется либо утилизировать, либо же использовать до полного её окончания. Также бумажные отходы намного тяжелее пластиковых, поэтому их транспортировка требует больше топлива. Кроме того, пластиковая упаковка позволяет намного дольше хранить продукты, поэтому в результате замены ее на бумажную, возникнут проблемы с логистикой, что будет иметь экономические последствия.

Таким образом, чтобы отказаться от пластикового производства и перейти на бумажное, у человечества уйдет не менее 10 лет, однако проблема с пластиком в океане все также не будет решена.

Важно отметить, что проблема пластиковых отходов может быть решена. Пластик важно сортировать. Для корректной его сортировки, он маркируется треугольными символами. Это маркировки, обозначающие из какого типа пластика сделан предмет. Под каждой меткой принимают свой вид пластика. Всего существует семь меток:

1) Полиэтилентерефталат (ПЭТ): бутылки из-под воды, соков, молока и т. д. Такие упаковки успешно перерабатываются.

2) Полиэтилен низкого давления: упаковки от шампуня, геля для душа, моющих средств. Успешно перерабатываются.

3) Поливинилхлорид (ПВХ): контейнеры и пленка для пищевых продуктов. При сжигании выделяют диоксины – сильные яды и канцерогены.

4) Полипропилен высокого давления (ПВД): пластиковые пакеты, многоразовые сумки, бутылки от моющих средств. Успешно перерабатываются.

5) Полипропилен (ПП): контейнеры для пищевых продуктов, многоразовая пластиковая посуда, лотки в холодильниках. Возможна переработка.

6) Полистирен (ПС): лотки и контейнеры для пищевых продуктов, одноразовая посуда, стаканчики из-под йогуртов, упаковки для яиц, аудиокассеты и коробки для CD-дисков. Может выделять стирол в горячие и алкогольные напитки.

7) Прочие виды пластика: бутылки для кулера и детские бутылочки из поликарбоната, любые изделия из биоразлагаемых пластиков. Не перерабатываются.

В Беларуси на данный момент перерабатываются пластики под номерами: 1,2,4 и 5. Кроме изделий из тонкого пластика: обертки от конфет, одноразовая посуда, упаковки от снеков, стаканчики от йогурта и сметаны. Такие отходы можно отправлять в общий мусор [6].

Можно было бы сортировать пластик в баки под разными маркировками, однако сейчас существуют проблемы с сортировкой пластика в целом. В городах чаще можно встретить контейнеры для сбора бумаги, либо же стекла, хотя пластика производится намного больше. А отходы из баков для сортировки мусора, установленных во дворах городских кварталов, в итоге поступают в одно место, перемешиваясь, и, в конечном итоге, не сортируются.

Пункты приема пластика на переработку являются недоступными и их не так много. Большинство людей даже не знают, где они находятся и для того, чтобы получить эту информацию нужно не мало постараться. Также существуют правила сдачи пластиковых отходов [7]:

- бутылки должны быть чистыми (без дополнительных включений);
- на емкостях должна отсутствовать краска;
- ёмкости из-под химических, дезинфицирующих средств должны быть обезврежены и обеззаражены.

Не каждый человек согласится тратить много времени на поиски мест переработки, а уж тем более на дорогу к ним. Сделав пункты сортировки отходов более доступными, можно постепенно устранить экологический кризис. Сортировка бумаги, стекла, биоразлагаемых неперерабатываемых материалов и пластика по соответствующим маркировкам позволит лучше перерабатывать отходы и не загрязнять ими окружающую среду.

Важно также уделять внимание биоразлагаемым отходам, например, остаткам пищи требуется небольшой период для разложения, однако, находясь они в пластиковой упаковке, на это уйдет больший срок, поэтому важно сортировать отходы всех видов для наименьшего выделения токсинов и эффективного результата.

Во дворах должны быть установлены сортировочные урны, которые будут находиться в общем доступе и действительно отвозить его в перерабатывающие пункты. Пластик нуждается в ежедневной сортировке и тогда он не будет вредить нам.

Таким образом, на основе произведенного анализа можно сформулировать следующие условия, при которых использование альтернатив пластиковой таре является экологичным:

- 1) Использование заменителя пластика должно быть экологичнее использования пластика с учетом полного жизненного цикла сравниваемых материалов;
- 2) При соблюдении первого условия, необходимо нивелировать негативные экологические последствия от использования пластика. Иначе, на экологическую обстановку влияют сразу две производственные и потребительские инфраструктуры;
- 3) Разработка и применение регламентов разумного потребления пластика и его альтернатив.

ЛИТЕРАТУРА

1. С пластиковых пакетов сняли обвинение - МЕТЕОВЕСТИ от ФОБОС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.meteovesti.ru/news/63767565581-plastikovyh-paketov-snyali-obvinenie/>. – Дата доступа : 03.03.2022.
2. Сроки разложения мусора: насколько еще нам хватит планеты? - greenbelarus.info [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://greenbelarus.info/articles/29-07-2014/sroki-razlozheniya-musora-naskolko-esche-nam-khvatit-planety/>. – Дата доступа : 07.03.2022.
3. Черная, Н. В. Состояние современного рынка бумажной и картонной продукции / Н. В. Черная, Е. В. Дубоделова, И. П. Деревяго // Новейшие достижения в области инновационного развития целлюлозно-бумажной промышленности: технология, оборудование, химия : материалы научно-технической конференции, 4-6 апреля, Минск / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 33-38.
4. Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года – FAO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/ru>. – Дата доступа : 07.03.2022.
5. Федяева, О.А. Промышленная экология. Конспект лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 145 с.
6. Что в какой контейнер - Irecycle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://irecycle.ecoidea.by>. – Дата доступа : 07.03.2022.
7. Куда сдать пластик на переработку [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belvtorresurs.by/ru/nashi-uslugi/otkhody-plastika/>. – Дата доступа : 07.03.2022.

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

THE EFFECT OF IONIZING RADIATION ON STRUCTURAL MATERIAL

В. И. Красовский^{1,2}, В. И. Бразинский^{1,2}

V. I. Krasovsky^{1,2}, V. I. Brazinsky^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г.Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarussian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarussian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

vikras@iseu.by; braz31122001@gmail.com

В работе дан анализ влияния нейтронного облучения на ряд конструкционных материалов, включая железоуглеродистые сплавы. Рассматриваются причины деструктивных изменений кристаллических решеток материалов. Устанавливаются аналогии при нейтронном облучении и термической обработке материалов.

This text analyzes the effect of neutron radiation on some structural material including iron-carbon alloys. Causes of destructive changes of crystal structure of materials are considered. Analogies are established in neutron irradiation and heat treatment of metals.

Ключевые слова: нейтрон, конструкционные материалы, кристаллическая решетка, энергия.

Keywords: neutron, structural material, crystal structure, energy.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-338-341>

Различные виды излучения, воздействуя на твердые тела, вызывают специфические радиационные дефекты. В настоящее время имеются многочисленные доказательства не только образования дефектов, но и изменения их вида, формы, скорости движения в процессе облучения. Многие обычные конструкционные материалы под действием облучения испытывают структурные превращения, которые приводят к нежелательным изменениям свойств в эксплуатации. В связи с этим материалы, эксплуатирующиеся в условиях облучения, должны быть радиационно-стойкими.

Наиболее сильное влияние оказывает нейтронное облучение. Влияние облучения α -частицами, протонами, тем более легкими β -частицами и γ -излучения менее сильно. Влияние облучения оценивается радиационной стойкостью.

Радиационная стойкость – это свойство стабильности структуры и эксплуатационных параметров материалов в условиях жестких облучений. Наибольшее влияние структурные изменения от облучения оказывают на механические свойства и коррозионную стойкость.

При упругом столкновении бомбардирующей частицы с атомом конструкционного материала, последний в некоторых случаях приобретает энергию E_p , превышающую энергию, которая называется пороговой энергией смещения E_d . В таком случае возбужденный атом покидает свое место в решетке. При этом он может пройти одно или несколько межатомных расстояний, пока не остановится в междоузлии. В момент перемещения такой атом теряет связь с решеткой, но оказывает возбуждающее влияние на электронные связи атомов окружения. Образуется пара Френкеля: вакансия – межузельный атом. E_d для обычных металлов находится в пределах 20–40 эВ. Если $E_p \sim E_d$, то образуется одна пара Френкеля; при $E_p \gg E_d$ создается два, три или целый каскад дефектов такого же типа [1].

При облучении кристаллической решетки потоком тяжелых частиц, энергия, получаемая атомом вещества, достигает больших значений, и вблизи конца пути первично выбитого атома среднее расстояние между соударениями в плотноупакованных кристаллических решетках должно быть приблизительно равно среднему межатомному расстоянию. В этом случае атом на пути первично выбитого атома смещается со своего места и образуется область сильного искажения, интерпретируемая как пик смещения.

При облучении материалов нейтронами спектра реактора либо тяжелыми частицами с большой энергией кристаллическая решетка испытывает огромное число элементарных повреждений.

Несмотря на отсутствие корректной теории, учитывающей коллективные процессы и совокупность взаимодействий в решетке, усредненное число смещенных атомов можно оценить довольно точно с помощью очень простой модели, основанной на представлении о парных столкновениях.

Одной из характеристик столкновения является энергия, передаваемая бомбардируемому атому. В зависимости от геометрических параметров столкновения (взаимного направления движения частицы и колебания атома) она может меняться от нуля, при столкновениях под очень малым углом, до максимальной величины $E_{\max}$, при лобовом столкновении. Из законов сохранения энергии и импульса при упругом столкновении $E_{\max}$ определяется соотношением:

$$E_{\max} = 4EMm / (M + m)^2, \quad (1)$$

где E и m – энергия и масса взаимодействующей быстрой частицы; M – масса атома вещества.

Для электронов с высокой энергией ($E \gg 1$ МэВ) следует учитывать релятивистские эффекты. В этом случае предыдущее выражение превращается в

$$E_{\max} = 2E(E + 2m_e c^2) / (Mc^2). \quad (2)$$

В случае столкновения с тяжелой частицей высокой энергии можно ожидать возникновение каскада смещений. Среднее число атомных смещений рассчитывается в простейшем случае по формуле

$$N_d = \phi t N \sigma_d v, \quad (3)$$

где ϕ – плотность потока ионизирующего излучения; t – время облучения; N – число атомов в единице объема; σ_d – сечение столкновений, вызывающих смещения; v – среднее число смещений на один первично смещенный атом.

$$v = E_p / (2E_d), \quad (4)$$

где E_p – средняя энергия, передаваемая атому быстрой частицей. Величина E_d зависит от направления смещения относительно кристаллографических осей кристалла, что связано с анизотропией сил связи, а также от природы сил связи атомов в решетке.

Весь спектр дефектов, наблюдаемых в металлических твердых телах после облучения с помощью методов электронной и ионной микроскопии, образуется из первичных радиационных дефектов – пар Френкеля – в результате их взаимодействия между собой и с существующими в материале дефектами кристаллического строения,

а также под воздействием локальных возбуждений в электронной подсистеме кристаллической решетки, иницируемых ионизирующим излучением.

Помимо смещений большие нейтронные потоки за счет своей энергии возбуждают атомы, усиливают их колебания, что сопровождается локальным повышением температуры. Рост температуры способствует радиационному отжигу, сопровождающемуся аннигиляцией вакансий и межузельных атомов. Высокие температуры и нейтронное облучение могут вызвать в материале ядерные реакции с образованием гелия, что в свою очередь приводит к появлению газовых пузырей по границам зерен.

Степень изменения свойств при облучении зависит от суммарного потока Φ частиц (число частиц, которое пошло через сечение в 1 м^2), а также от температур облучения и рекристаллизации металла. При облучении число дефектов в металле возрастает с увеличением суммарного потока. По характеру влияния на механические свойства облучение напоминает холодную пластическую деформацию.

При облучении большими потоками нейтронов последние не только смещают атомы материала в межузлия, но возбуждают их колебания и электронные оболочки, передавая часть своей энергии. Усиление колебаний атомов в узлах решетки сопровождается локальным повышением температуры в кристалле. Увеличение температуры локальных участков кристалла одновременно вызывает процесс образования скоплений вакансий, которые при очень больших потоках превращаются либо в дислокационные петли, либо в нано- и микропоры, что приводит к увеличению объема материала.

Облучение при температуре ниже температуры рекристаллизации называется низкотемпературным облучением. Оно влияет на структуру и механические свойства металлов и сплавов так же, как при холодной пластической деформации: материал упрочняется, но теряет пластичность.

Максимальная прочность углеродистых сталей при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигается при облучении суммарным нейтронным потоком $\phi = 2 \cdot 10^{23}\text{ м}^{-2}$. При суммарном потоке нейтронов $\phi = 3 \cdot 10^{23}\text{ м}^{-2}$ сталь приобретает максимальное упрочнение. При дальнейшем увеличении суммарного потока свойства не меняются.

Облучение при температуре выше температуры рекристаллизации считается высокотемпературным. Такое облучение сопровождается радиационным отжигом, который способствует восстановлению структуры и механических свойств в процессе радиации. Перлитные стали при температуре облучения $250\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$ мало изменяют свойства, а при температуре выше $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ свойства практически не изменяются, так как рекристаллизация проходит полностью. Аустенитные стали стабильны при температуре выше $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Алюминий и магний, имеющие низкие температуры рекристаллизации, радиационно-стойкие при температуре выше $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пластичность при облучении не меняется, а прочность даже увеличивается. Упрочнение, полученное в результате низкотемпературного облучения, в них сохраняется при последующем нагреве до температуры ниже температуры рекристаллизации.

В молибдене упрочнение, полученное при облучении ($\phi = 8 \cdot 10^{24}\text{ м}^{-2}$ при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), сохраняется при температуре до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, но при этом они обладают низкой пластичностью. Восстановление пластичности начинается только с температуры $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полностью структура и свойства облученного молибдена восстанавливаются лишь в процессе отжига при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Влияние температуры нагрева при облучении может быть более сложным, если сплав при этом испытывает структурные превращения, например, распад пересыщенных твердых растворов (старение или отпуск) так как облучение активизирует диффузионные процессы. Именно этим объясняется высокотемпературная хрупкость аустенитных хромоникелевых сталей. Пластичность облученной стали восстанавливается при $500\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем при дальнейшем нагреве вновь снижается. Длительная прочность при облучении всегда снижается, особенно в стареющих сплавах. Это вызвано активизацией диффузионных процессов под действием облучения, которые ответственны за разрушение при повышенных температурах. Снижение жаропрочности при облучении усиливается с увеличением нейтронного потока, температуры облучения и температуры испытания.

Бериллий, облученный при температуре $800\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ нейтронным потоком $\phi = 10^{24}\text{ м}^{-2}$, увеличивает объем на $3\text{--}5\%$. Аустенитная сталь, облученная при температуре $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ потоком $\phi = 10^{27}\text{ м}^{-2}$, увеличивает объем на 10% (рис. 5.5). Наибольшее изменение объема материала таких сталей обнаруживается при рабочих температурах этих сталей $350\text{--}650\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Изменение объема материала вызывает изменение формы и размеров деталей, а также ухудшение механических свойств. Оно усиливается скоплением в образовавшихся при облучении микропорах молекулярного водорода либо водородосодержащих газов с большим внутренним давлением. Дополнительное легирование хромоникелевых сталей такими элементами, как Ti, Mo, Nb, уменьшает изменение объема материала. Возможно это является результатом уменьшения растворимости и скорости диффузии водорода в таком сложнолегированном аустените. Холодная пластическая деформация аустенитных сталей снижает изменение объема материала, видимо, по той же причине. Перлитные и ферритные высокохромистые стали, растворимость водорода в которых мала, менее склонны к разбуханию. Действие низкотемпературного облучения на свойства напоминает наклеп – холодную пластическую деформацию. Однако, несмотря на такую аналогию, механизмы воздействия радиационного повреждения и наклепа на структуру материала принципиально различны, поскольку радиационное повреждение связано преимущественно с образованием точечных дефектов, тогда как деформационное упрочнение связано в основном с появлением линейных дефектов [2].

Примеры изменения свойств некоторых материалов под действием нейтронного облучения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Интегральный поток быстрых нейтронов, см ⁻²	Материал	Воздействие облучения
10 ¹⁴ –10 ¹⁵	Политетрафторэтилен, полиметил-метакрилат и целлюлоза	Снижение прочности при растяжении
10 ¹⁶	Каучук	Снижение эластичности
10 ¹⁷	Органические жидкости	Газовыделение
10 ¹⁸ –10 ¹⁹	Металлы	Заметный рост предела текучести
10 ²⁰	Полистирол	Снижение прочности при растяжении
	Керамические материалы	Уменьшение теплопроводности, плотности, кристалличности
	Все пластмассы	Непригодны в качестве конструкционного материала
	Углеродистые стали	Значительное снижение пластичности, удвоение предела текучести, повышение температуры перехода от вязкого разрушения к хрупкому
10 ²⁰ –10 ²¹	Коррозионностойкие стали	Трехкратное увеличение предела текучести
10 ²¹	Алюминиевые сплавы	Снижение пластичности без полного охрупчивания

При облучении резко снижается коррозионная стойкость металлов и сплавов. Вода и водяной пар являются теплоносителями в водном и водно-паровом трактах АЭС. Вследствие радиолитического изменения состава электролита – происходит разрушение молекул воды с образованием ионов и атомов кислорода, водорода и щелочной гидроксильной группы –ОН. Конструкционные реакторные материалы, подвергающиеся облучению, работают в контакте с водой и паром. Образующийся кислород окисляет металл, а водород его наводороживает и тем самым дополнительно охрупчивает. Радиолитическое изменение концентрации гидроксильных групп способствует растворению поверхностных оксидных пленок, в обычных условиях, защищающих металл от коррозии. Для многих конструкционных материалов, работающих в условиях облучения в энергетических ядерных установках, коррозионной средой является вода либо влажный или перегретый пар. В таких средах электрохимический процесс коррозии может сопровождаться химической коррозией. При облучении стойкость металлов в условиях химической коррозии снижается из-за разрушения поверхностных защитных оксидных пленок. Облучение, вызывая структурные повреждения материалов, снижает электрохимический потенциал и ускоряет процесс коррозионного разрушения. В пассивирующихся металлах облучение разрушает поверхностные защитные пленки.

Скорость коррозии алюминия и его сплавов в воде при облучении при 190 °С тепловыми нейтронами со скоростью потока 10¹⁶ с⁻¹ м⁻² увеличивается в 2–3 раза. Потеря коррозионной стойкости алюминия в таких условиях может быть вызвана увеличением концентрации ОН - группы, что приводит к растворению поверхностных защитных оксидов.

Радиолитическое изменение уменьшает коррозионную стойкость циркониевых сплавов. При облучении тепловыми нейтронами, поток в единицу времени которых равен 10¹⁷ с⁻¹ м⁻² скорость коррозии сплава Цирколой-2 (хороший поглотитель нейтронов) при 20 °С увеличивается в 50–70 раз из-за разрушения защитных пленок.

В конструкциях, подверженных облучению (оболочки урановых стержней, корпуса и трубопроводы реакторов, корпуса синхротронов), в качестве конструкционных материалов, обладающих необходимым комплексом жаропрочности и коррозионной стойкости, используют высоколегированные стали перлитного, аустенитного класса и сплавы. Широкое применение сплавов на основе Zr, Be, Al, Mg в таких конструкциях объясняется их удовлетворительной жаропрочностью и коррозионной стойкостью, а также необходимым комплексом теплофизических свойств, в частности способностью слабо поглощать нейтроны. Необходимая радиационная стойкость конструкционного материала может быть обеспечена соответствующим химическим составом, структурой и оптимальными условиями эксплуатации: рабочей температурой, видом и энергией облучающих частиц, величиной потока облучения и свойствами коррозионной среды [3].

Выводы: влияние нейтронного облучения на конструкционные материалы, может вызывать как уменьшение прочностных свойств, так и увеличение. Указанный элемент неоднозначности требует дополнительных исследований с конкретизацией материала и его состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов, П. В. Физика твердого тела / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов – М.: Высшая школа, 2000. – 494 с.
2. Радиационная стойкость материалов: справочник/ В. Б. Дубровский, П. А. Лавданский [и др.]; под ред. Дубровского В.Б. – Москва, 1973
3. Вопросы дозиметрии и радиационной безопасности на атомных электрических станциях / А. В. Носовский [и др.]; под ред. А. В. Носовского. – Славутич, 1998.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА МОНИТОРНЫХ ЕДИНИЦ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПЛАНА ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА

VERIFICATION OF THE CALCULATION OF THE NUMBER OF MONITOR UNITS FOR AN INDIVIDUAL PATIENT RADIATION PLAN

М. Н. Петкевич^{1,2,3}, В. Ю. Юшкевич^{2,3}

М. N. Piatkevich^{1,2,3}, V. Y. Yushkevich^{2,3}

¹Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова», аг. Лесной, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, БГУ

³Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

kfm@iseu.by, yushkevich.ur@gmail.com

¹State Institution "N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus", Lesnoy, Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU

³International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В настоящей работе проведен сравнительный анализ независимых методов верификации расчета количества мониторных единиц плана облучения пациента. В ходе работы проведена верификация с помощью теоретических расчетов для полей облучения с разными геометрическими параметрами и с помощью компьютерных систем планирования облучения. На основании полученных данных показано, что невозможно ожидать точного или почти точного совпадения результатов этих двух расчетов, так как теоретическая проверка выполняется с использованием более простых геометрических моделей и алгоритмов расчета, чем расчет с помощью компьютерной системы планирования. Также было выявлено, что для одного и того же прямоугольного поля для разных ускорителей в изоцентрических условиях, с одной энергией излучения и одинаковым РИП, количество МЕ примерно равно и не превышает 3 %.

In the present work we carried out a comparative analysis of independent methods of verification of the number of monitor units of the radiation therapy irradiation plan. In the course of the work, verifications were carried out using theoretical calculations for irradiation fields with different geometric parameters and with the help of computer systems for radiation planning. Based on the data obtained, it is shown that it is impossible to expect an exact or almost exact coincidence of the results of these two calculations, since the theoretical verification is performed using simpler geometric models and calculation algorithms than the calculation using a computer planning system. It was also found that for the same rectangular field for different accelerators in isocentric conditions, with the same emission energy and the same SSD, the amount of ME is approximately equal and does not exceed 3%.

Ключевые слова: верификация мониторных единиц, прямоугольное поле облучения, компьютерная система планирования облучения Eclipse.

Keywords: verification of monitor units, rectangular radiation field, computer radiation planning system "Eclipse".

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-345-348>

В лучевой терапии верификация – независимая комплексная проверка, подтверждающая соответствие дозового распределения, доставленного к мишени внутри тела пациента, запланированному распределению с погрешностью результата облучения, не превышающей заданную величину критерия приемлемости. Условно можно выделить три большие группы верификационных мероприятий:

- верификация расчета дозового распределения;
- верификация доставки дозового распределения;
- верификация положения пациента во время облучения.

Каждая из этих составляющих очень важна, и только при проведении мероприятий по всем трем направлениям можно достигнуть надлежащего качества проведения процедур облучения пациентов [1].

Расчет количества мониторных единиц является необходимой частью независимого контроля при проверке плана. Это является важным элементом программы гарантии качества лучевой терапии, которая гарантирует безопасность и точность лечения больного. Такой контроль обычно проводится при предлучевой проверке плана, является только одной составляющей и не заменяет полноценной проверки плана [1].

Верификация расчета количества мониторных единиц выполняется либо вручную, либо с использованием специализированного программного обеспечения [1].

Методика расчета. Методика расчета описана в брошюре ESTRO 6 [2]. Также достоверность расчета проверена на основе измерений дозы излучения, выполненных в фантоме для тех же условий облучения. Экспериментальный метод состоит в определении поглощенной дозы для воды с помощью калиброванной ионизационной камеры в точке спецификации дозы для расчетного количества МЕ. Затем происходит сравнение измеренной дозы с предписанной дозой.

Для открытых пучков излучения доза была рассчитана по формуле [2]:

$$D(z, s_e) = \dot{D}_R \cdot U \cdot O_0(c_e) \cdot \frac{V(z_R, s_e)}{V(z_R, c_R)} \cdot T(z, s_e),$$

где U – количество МЕ.

$O_0(c_e)$ – коэффициент, определенный в мини-фантоме для размера поля c_e .

$\frac{V(z_R, s_e)}{V(z_R, c_R)}$ – отношение коэффициентов объемного рассеяния на опорной глубине z_R для размеров полей s_e и c_R .

Коэффициент объемного рассеяния – это отношение дозы на глубине z_R в большом водном фантоме к дозе в мини-фантоме для того же эквивалентного размера поля s_e ; s_e используется для величин, связанных с рассеянием в фантоме, а c_e – для величин, связанных с рассеянием от коллиматора.

c_R – размер опорного поля, определяемый коллиматором: размер поля 10 см × 10 см на расстоянии 100 см от источника (т. е. в изоцентре).

$T(z, s_e)$ – отношение ткань-фантом на глубине z для размера поля s_e .

Доза в условиях обработки $D(z, c, w)$ пучка, сформированного клиновидным фильтром получена из дозы на МЕ в стандартных условиях $\dot{D}_R$, коэффициента мощности и коэффициента ткань-фантом открытого пучка излучения путем введения коэффициента пропускания клиновидного фильтра k_w , зависящего от размера поля. Это приводит к следующему уравнению [2]:

$$D(z, c, w) = \dot{D}_R \cdot U \cdot O_0(c, w) \cdot \frac{V(z_R, c, w)}{V(z_R, c_R, w)} \cdot k_w(z_R, c_R) \cdot T(z, c, w),$$

где $k_w(z_R, c_R)$ – коэффициент пропускания клиновидного фильтра, определенный в большом водном фантоме в стандартных условиях.

Доза $D(z, c, s_b)$ пучков, сформированных блоками получена из дозы на МЕ в стандартных условиях и $\dot{D}_R$ [2]:

$$D(z, c, s_b) = \dot{D}_R \cdot U \cdot O_0(c) \cdot \frac{V(z_R, s_b)}{V(z_R, c_R)} \cdot k_{o,t}(c) \cdot k_{o,b}(c, s_b) \cdot T(z, s_b, b),$$

где $k_{o,t}(c)$ – коэффициент пропускания теневых блоков, который определяется как отношение дозы, измеренной в мини-фантоме для размера поля c в стандартных условиях для одного и того же количества МЕ.

$k_{o,b}(c, s_b)$ – поправка на наличие экранирующих блоков в пучке, определенная с помощью мини-фантома.

c – размер поля, определяемый коллиматором, а s_b – размер поля, определяемый блоками экранирования, для обоих в изоцентре.

В таблице 1 приведены примеры теоретического расчета количества МЕ для полей облучения с разными геометрическими параметрами.

Таблица 1 – Теоретический расчет количества МЕ

Геометрия поля	Энергия излучения, МэВ	РИП, см	Предписанная доза, Гр	Количество МЕ
Прямоугольное поле облучения (10 см × 40 см)	10	100	1	106
Поле облучения, сформированное клиновидным фильтром (20 см × 7 см)	4	100	1	248
Поле облучения, сформированное блоками (21 см × 26 см)	6	100	1	108
Прямоугольное поле облучения (8 см × 20 см)	18	80	1	68
		100		94
		120		147

Таким образом, количество мониторных единиц для прямоугольного поля облучения – 106 МЕ. Поглощенная доза для воды, которая была измерена для тех же условий облучения для расчетного количества МЕ, составила 0,997 Гр, что находится в пределах 0,3 % от ожидаемой дозы 1,00 Гр.

Количество мониторных единиц для поля, созданного пучками излучения, сформированными клиновидным фильтром – 248 МЕ. Измерение дозы с помощью калиброванного прибора в таких же клинических условиях лечения привело к соответствию между расчетом и измерением в 0,02 %.

Количество мониторных единиц для поля, созданного пучками излучения, сформированными блоками – 108 МЕ. Измерения дозы, выполненные в фантоме с использованием этого количества МЕ, дали дозу 0,994 Гр. Это значение хорошо согласуется с предписанной дозой 1,00 Гр (в пределах 0,6 %).

Количество monitorных единиц при изменении расстояния источник-поверхность – 94 ME (при РИП 100 см), 147 ME (при РИП 120 см) и 68 ME (при РИП 80 см). Измерения дозы в условиях обработки, выполненные с помощью калиброванной ионизационной камеры, дали значения дозы 100,0 сГр, 100,0 сГр и 101,0 сГр, что хорошо согласуется с предписанными значениями.

Далее были проведены расчеты в компьютерной системе планирования Eclipse. Система планирования Eclipse Treatment Planning System (TPS) используется для планирования лучевой терапии у пациентов со злокачественными или доброкачественными опухолевыми заболеваниями [3].

Eclipse TPS подлежит использованию квалифицированным медицинским персоналом для работы с пациентами, которым онколог назначил курс лучевой терапии. Также система Eclipse используется для планирования облучения внешними пучками фотонов, электронов и протонов, а также для внутреннего облучения (брахитерапии) [3].

Компьютерная система планирования облучения Eclipse характеризуется улучшенным совмещением изображений различных типов и рабочей областью сегментации сканированных изображений ПЭТ, КТ, МР и КТКП (КТ конусовидным пучком). Ряд различных алгоритмов автоматического жесткого совмещения, включая совмещение на основе точки начала координат, обеспечивает гибкость планирования как простых, так и комплексных процедур, а также интеграцию многих аспектов строения и функционирования в процессе оконтуривания [3].

В таблице 2 приведены примеры расчета количества ME с помощью Eclipse.

Таблица 2 – Расчет количества ME с помощью компьютерной системы планирования облучения Eclipse

Геометрия поля	Энергия излучения, МэВ	РИП, см	Предписанная доза, Гр	Количество ME
Прямоугольное поле облучения (10 см × 40 см)	6	100	1 95 95,6 96	93
Clinac				
Trilogy				
TrueBeam				
Unique				
Прямоугольное поле облучения (10 см × 40 см)	18	100	1 108 109,6	106
Clinac				
Trilogy				
TrueBeam				

Таким образом, количество ME для прямоугольного поля для ускорителя Clinac составило 93 ME, для ускорителя Trilogy составило 95 ME, для ускорителя TrueBeam составило 95,6 ME, для ускорителя Unique составило 96 ME.

Для точно такого же поля в изоцентрических условиях, но с энергией излучения 18 МэВ количество ME для ускорителя Clinac составило 106 ME, для ускорителя Trilogy составило 108 ME, для ускорителя TrueBeam составило 109,6 ME.

Из приведенных выше данных (табл. 2) видно, что для одного и того же прямоугольного поля в изоцентрических условиях, с одной энергией излучения и одинаковым РИП, количество ME примерно равно и не превышает 3 %. Небольшие различия в значениях можно объяснить индивидуальной конструкцией ускорителей.

На рисунке 1 показан интерфейс программы Eclipse для удлиненного прямоугольного поля в изоцентрических условиях, энергия излучения – 6 МэВ, РИП составляет 100 см, а размер поля на этом расстоянии составляет 10 см (X) × 40 см (Y), предписанная доза – 1 Гр, ускоритель Clinac.



Рисунок 1 – Расчет количества ME для прямоугольного поля 10×40 см на ускорителе Clinac (6 МэВ)

Первичный расчет МЕ с помощью современных 3D систем планирования основан обычно на подробной модели пучков и геометрии пациента, он учитывает влияние рассеяния в теле пациента, возникшего при экранировании полей, изменение рассеяния из-за влияния контура и гетерогенностей. В общем случае контроль мониторных единиц не учитывает такие подробности о пучках и анатомии пациента, следовательно, необходимо принять определенные допуски для величины разницы между результатами двух расчетов. Наибольшую погрешность в контроле мониторных единиц обуславливают: рассеяние при экранировании поля, контур тела пациента, и влияние гетерогенностей тела.

Создание и поддержание программы верификации количества мониторных единиц является важной обязанностью медицинского физика. Важно, чтобы медицинский физик знал точность и ограничения и первичной и контрольной системы, чтобы разумно применять установленные допуски, и лучше объяснять причины различия результатов. Уровень достижимого совпадения результатов первичного и контрольного расчетов зависит от сложности геометрии пациента, программ первичного и контрольного расчетов, клинической ситуации. Поэтому разумно иметь разные допуски для разных клинических ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин, И.Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И.Г. Тарутин, Е.В. Титович. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 175 с.
2. Mijnheer, B. Monitor Unit Calculation for High Energy Photon Beams – Practical Examples / B. Mijnheer, A. Bridier, Cr. Garibaldi // Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology. – 2001. – № 6. – P. 109.
3. Eclipse Treatment Planning Примечание к выпуску для пользователей / Varian Medical Systems, Inc. – CA: Palo Alto, 2018. – 55 с.

ВЛИЯНИЕ ИСКАЖЕНИЙ МР-ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КАЧЕСТВО РЕАЛИЗАЦИИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ РАДИОХИРГИИ INFLUENCE OF MR IMAGE DISTORTIONS ON THE QUALITY OF IMPLEMENTATION OF STEREOTACTIC RADIOSURGERY

И. А. Штуро^{1,2}, М. Н. Петкевич^{1,2}

I. Shtura^{1,2}, M. Petkevich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kfm@iseu.by, irina.shturo@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

При планировании стереотаксической радиохирургии преимущественно применяется магнитно-резонансная томография, обладающая высоким уровнем контрастности мягких тканей. Параметры объема облучения могут быть определены детально на МР-изображениях, геометрическая точность которых ограничена возможным появлением искажений, оказывающих непосредственное влияние на качество получаемой объемно-анатомической информации о пациенте. Внешние устройства, такие как стереотаксические рамы, используемые для иммобилизации пациента и стереотаксического определения пространства при проведении стереотаксической радиохирургии на установке Gamma Knife Perfexion, могут вызывать искажения и артефакты на МР-изображениях. Целью работы является оценка геометрических искажений МР-изображений при помощи цилиндрического фантома для МРТ компании Elekta.

In the process of planning stereotactic radiosurgery, magnetic resonance imaging, which has a high level of soft tissue contrast, is predominantly used. Radiation volume parameters can be determined in detail on MR images, geometric accuracy of which is limited by the possible appearance of distortions directly affecting the quality of the obtained volume-anatomical information about the patient. External devices such as stereotactic frames used for patient immobilization and stereotactic space definition during stereotactic radiosurgery on the Gamma Knife Perfexion can create distortions and artifacts in MR images. The purpose of this work is to evaluate the geometric distortions of MR images using the Elekta cylindrical phantom for MRI.

Ключевые слова: Стереотаксическая радиохирургия, гамма-нож, стереотаксическая рамка, индикаторная коробка, геометрическое искажение, маркерные точки.

Keywords: Stereotactic radiosurgery, gamma knife, stereotactic frame, indicator box, geometric distortion, marker points.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-348-352>

Стереотаксическая радиохирургия (СРХ) патологий головного мозга – это метод лучевого лечения, заключающийся в подведении высокой дозы облучения с резким градиентом в строго ограниченную внутричерепную область. Высокий уровень контрастности мягких тканей при магнитно-резонансной томографии (МРТ) по сравнению с компьютерной томографией позволяет максимально точно визуализировать патологические очаги головного мозга. Однако несмотря на то, что размеры цели могут быть определены детально на МР-изображениях, геометрическая точность этих изображений ограничена возможным появлением искажений, оказывающих непосредственное влияние на качество получаемой объемно-анатомической информации о пациенте. Геометрические искажения в МРТ могут возникать из различных источников. Эти источники можно разделить на связанные с аппаратурой и связанные с тканями.

Основными источниками, вносящими вклад в геометрические искажения от аппаратуры МРТ, являются неоднородность основного магнита, нелинейность градиентных полей и вихревые токи, связанные с переключением градиентных катушек. Источники, связанные с тканями, в основном включают разницу в восприимчивости и химический сдвиг. Внешние устройства, такие как стереотаксические рамки, используемые для иммобилизации пациента и стереотаксического определения пространства при проведении стереотаксической радиохирургии на установке Gamma Knife Perfexion, также могут вызывать искажения и артефакты на МР-изображениях.

В рамках исследования, с целью количественной оценки геометрического искажения на МР-изображениях, используемых в радиохирургии на стереотаксической установке Gamma Knife Perfexion, был проведен сравнительный анализ координат маркерных точек цилиндрического фантома Elekta на МР-изображениях с координатами маркерных точек на КТ-изображениях [1]. Фантом для МРТ фирмы Elekta (Стокгольм, Швеция) применяется для оценки искажений при использовании координатной рамки Leksell Coordinate Frame G в МР-сканере (Рисунок 1).

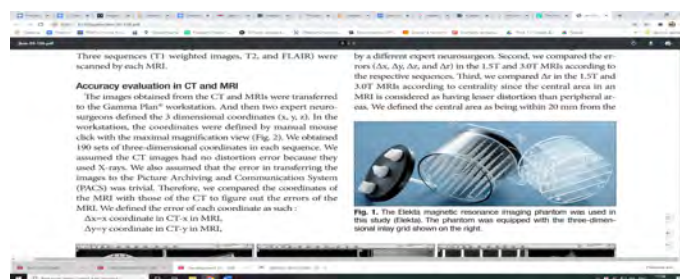


Рисунок 1 – Фантом для магнитно-резонансной томографии (Elekta).
Фантом оснащен трехмерной сеткой-вкладышем, показанной справа

Фантом изготовлен из акрилового пластика, состоит из контейнера цилиндрической формы диаметром 180,5 мм и высотой 131 мм, имитирующий голову пациента. В данном объеме установлено 190 маркерных точек диаметром 2 мм и высоту 2,5 мм соответственно. Внутри возможно размещение двух типов решеток для оценки аксиального или коронарного направления сканирования соответственно. Аксиальная решетка используется для осевых срезов и имеет вертикальные стержни, закрепленные на двух круглых пластинах. Корональная решетка используется для коронарных срезов и имеет горизонтальные стержни, закрепленные через ряд вертикальных стенок. Объем фантома заполнен пентагидратом сульфата меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), что способствует его чувствительности к химическим сдвигам и артефактам восприимчивости (дополнительным причинам искажений, возникающих при столкновении с различиями в плотности при диагностической МРТ и планировании лучевой терапии). На МР и КТ последовательностях хорошо визуализируются 190 наборов трехмерных координат. Выполнено МР и КТ сканирование данного фантома с установленной стереотаксической рамкой (Leksell Coordinate Frame G), МР индикаторной коробкой и адаптером для головной катушки Siemens (Рисунок 2).

Во время сканирования оси фантома были точно выровнены. Для данного исследования использовались КТ (GE LightSpeed 16) и МРТ 1,5Т (Siemens MAGNETOM Avanto 1,5Т). Параметры МРТ сканирования представлены в таблице 1. На МРТ выполнены две последовательности (Т1-взвешенные изображения и Т2).

Произведена качественная оценка полученных МР-изображений для каждой последовательности на предмет артефактов. Полосы пропускания выбраны близкие к 300 Гц/пиксель для всех последовательностей МРТ, с целью минимизации артефактов, вызванных магнитной восприимчивостью.



Рисунок 2 – Фантом для оценки геометрического искажения с установленной индикаторной коробкой Leksell, стереотаксической рамкой Leksell G, помещенный в адаптер для головной катушки Siemens, используемый при внутричерепном МРТ-сканировании для планирования СРХ на стереотаксической установке Гамма-нож

Таблица 1 – Параметры МРТсканирования

Параметры МРТ	T1	T2
продолжительность повторения, (мс)	8.8	4000
время эхосигнала, (мс)	4.76	101
номинальный угол поворота, (°)	90	90
поле исследования, (мм ²)	256	230
матрица регистрации, (пиксели)	256×256	256×100
полоса пропускания, (Гц/пиксель)	130	260
число срезов	160	80
толщина срезов, (мм)	1	2
направление фазового кодирования	R-L	R-L
направление частотного кодирования	A-P	A-P
направление отбора срезов	H-F	H-F
время сканирования, (мс)	5.39	8.08

Изображения, полученные с помощью КТ и МРТ, были переданы на рабочую станцию Leksell Gamma Plan (Рисунок 3–5). Трехмерные координаты (x, y, z) определялись вручную с максимальным увеличением.

В данном исследовании погрешность КТ-изображений, а также ошибку при передаче изображений в систему архивирования и передачи изображений (Picture Archiving and Communication System) считали незначительной. Поэтому провели сравнение координат МРТ с координатами КТ, с целью определения погрешности на МР-изображениях.

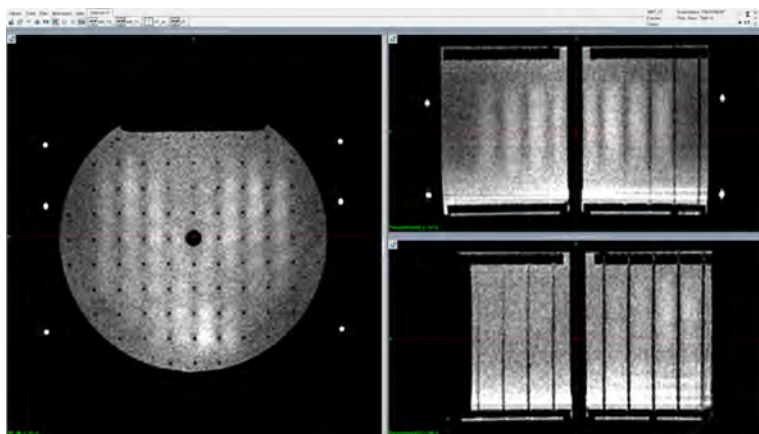


Рисунок 3 – МР-изображение фантома фантома в трех координатных проекциях, полученные в режиме T1-Bravo

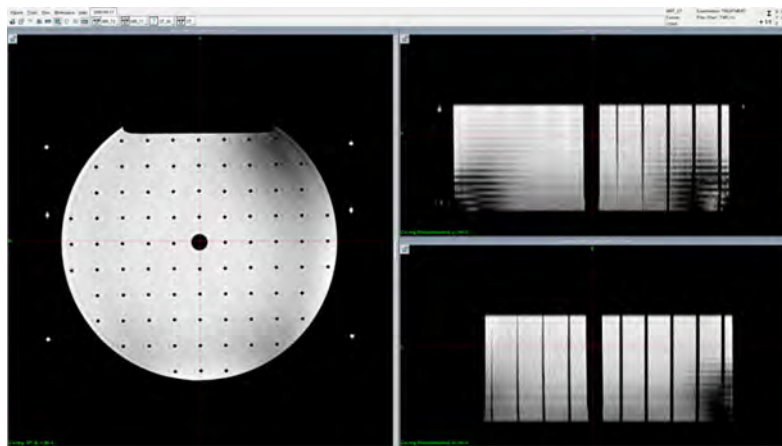


Рисунок 4 – МР-изображение фантома фантома в трех координатных проекциях, полученные в режиме T2

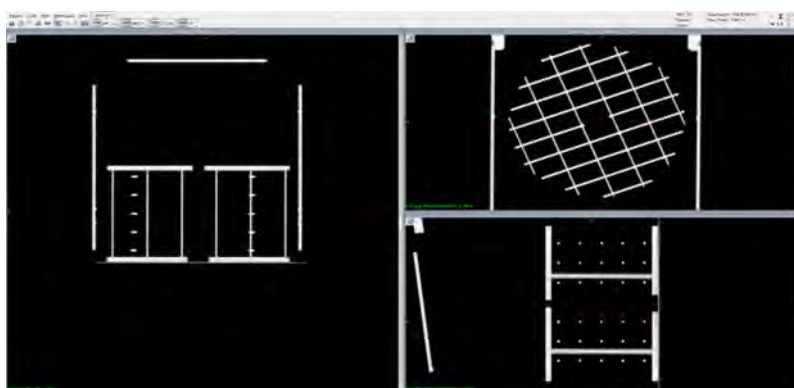


Рисунок 5 – КТ-изображения фантома во всех трех ортогональных плоскостях

Не существует стандартной процедуры, разработанной для оценки геометрических искажений в МРТ. А часто используемый метод заключается в измерении расстояния между парой контрольных точек, выбранных в плоскости визуализации, и вычисление отклонений от известного расстояния. Этот метод широко используется на практике, а также рекомендован Американской ассоциацией физиков в медицине и Институтом физики и инженерии в медицине, Великобритания [2,3].

Измерение геометрических искажений с помощью нового 3D фантомом является комплексным. Геометрическое искажение в пределах эффективного объема фантома полностью описывается позиционными отклонениями вдоль трех ортогональных осей.

Расчет погрешности каждой координаты выполнен следующим образом:

$$\Delta x = x \text{ координата в КТ} - x \text{ в МРТ},$$

$$\Delta y = y \text{ координата в КТ} - y \text{ в МРТ},$$

$$\Delta z = z \text{ координата в КТ} - z \text{ в МРТ}.$$

Трехмерная погрешность (Δr) определена как погрешность локализации:

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)}.$$

Произведен расчет погрешностей в каждой последовательности T1-Bravo и T2. Выполнен сравнительный анализ полученной погрешности (Δx , Δy , Δz и Δr) МРТ последовательностей T1-Bravo, T2. А также проведено сравнение Δr на T1-Bravo и T2 в соответствии с центральностью, так как центральная область в МРТ считается менее искаженной, чем периферийные области. Авторами определена центральная область как расположенная в пределах 20 мм от центра изображений фантома.

Погрешность МР-изображений составила $1,87 \pm 0,52$ мм (последовательность T1), $0,95 \pm 0,43$ мм (T2). Диапазон средних ошибок всех координат в каждой последовательности МРТ составил от 0,4 до 1,53 мм в последовательности T1, в последовательности T2 она имела значения от 0,31 до 0,67 мм.

Результаты расчета погрешностей по трем координатным осям для каждой последовательности МРТ представлены на рисунках 6 и 7.

Исходя из полученных данных можно отметить, что ошибка по оси x является наименьшей независимо от последовательности МРТ. А последовательность T2 при выполнении МРТ имеет наименьшую ошибку независимо от координат. Полученные практические данные в дальнейшем будут использоваться в ходе будущих исследований на реальных пациентах.

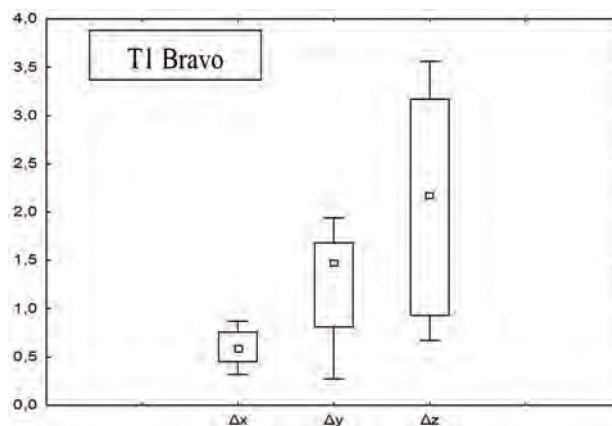


Рис. 6 – Погрешность по трем координатным осям для T1-взвешанных изображений МРТ

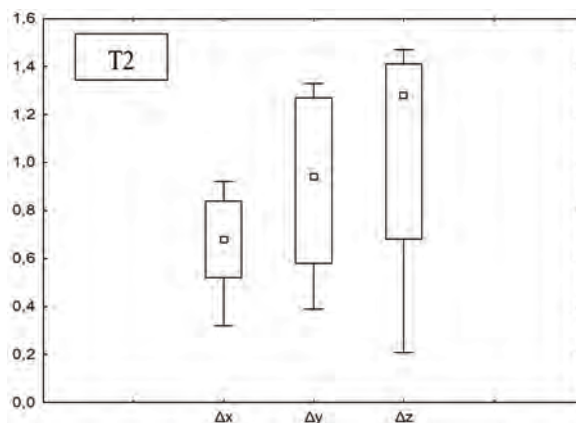


Рисунок 7 – Погрешность по трем координатным осям для T2-взвешанных изображений МРТ

ЛИТЕРАТУРА

1. Kim, H.Y. Reliability of Stereotactic Coordinates of 1.5-Tesla and 3-Tesla MRI in Radiosurgery and Functional Neurosurgery/ H.Y. Kim, Sun-il Lee, Seong Jin Jin // Journal of Korean Neurosurgical Society, 2014.–P.136–141
2. Price, R.R. Quality assurance methods and phantoms for magnetic resonance imaging: report of AAPM nuclear magnetic resonance Task Group No. 1 / R.R. Price, L. Axel, T. Morgan //The International Journal of Medical Physics Research and Practice, 1990. –P. 287–295
3. Firbank, M. J. Quality assurance for MRI: practical experience / M.J. Firbank, R.M. Harrison, E.D. Williams // The British Journal of Radiology, 2000.–P. 376–383

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ, СТРАДАЮЩИХ РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

COMPARATIVE ANALYSIS OF IRRADIATION METHODS FOR PATIENTS WITH PROSTATE CANCER

М. В. Калевич^{1,2}, М. Н. Петкевич^{1,2}

M. Kalevich^{1,2}, M. Piatkevich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kfm@iseu.by, maxkalevich@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

С появлением современных медицинских ускорителей электронов значительно увеличилось количество методик облучения. Новые методики направлены на сокращение длительности курса лучевой терапии, точность подведения дозы излучения к опухоли и снижение дозовых нагрузок на окружающие ткани и органы. Внедрение новой методики облучения в конкретном медицинском учреждении связано с рядом организационных мероприятий, адаптацией оборудования и имеющихся приспособлений к новому подходу, подготовкой персонала. Перед внедрением новой методики в клиническую практику учреждения необходимо произвести анализ всех параметров лучевого лечения путем компьютерного моделирования плана лучевой терапии с учетом всех условий облучения. Цель работы – произвести количественный анализ дозиметрических и временных параметров методик лучевого лечения пациентов, страдающих раком предстательной железы с применением разных схем фракционирования (последовательный boost, интегрированный boost).

To select the optimal treatment method, it is important to use the full range of radiation therapy parameters. The aim of the work is to assess and quantitatively analyze the dosimetric and time parameters of radiation therapy plans using different fractionation schemes (sequential boost, integrated boost).

Ключевые слова: лучевая терапия, последовательный буст, интегрированный буст, линейно-квадратичная модель.

Keywords: radiation therapy, sequential boost, integrated boost, linear-quadratic model.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-352-356>

Рак предстательной железы (РПЖ) на сегодняшний день представляет актуальную проблему в онкологии ввиду неуклонного роста числа вновь выявленных случаев. В настоящее время он занимает первое место по темпам прироста среди всех злокачественных новообразований. За последние десять лет в Республике Беларусь число ежегодно регистрируемых случаев рака простаты увеличилось в два раза. В настоящее время рак предстательной железы составляет 9,2 % в структуре онкологической заболеваемости в РБ и занимает 4 место после рака легкого, кожи и желудка.

Целью лучевой терапии является необходимость доставить максимальную дозу излучения до целевого объема однородно, при этом избегая чрезмерного облучения нормальных окружающих тканей. Достижения в области медицинской визуализации и медико-физического программного обеспечения позволили приблизиться к достижению этой цели путём визуализации пространственного распределения доставляемой поглощенной дозы в мишени. В результате этих разработок теперь возможно легко и быстро получить значительное количество различных дозиметрических планов лечения для одного и того же пациента.

Методика облучения одновременного интегрированного бустинга позволяет одновременно доставлять разные уровни дозы к разным целевым объемам в рамках одной лечебной фракции. Наиболее значительный аспект, связан со стратегией фракционирования, касающейся двух параметров зависимости времени от дозы: сокращение общего времени лечения, увеличение размера фракции.

Линейно-квадратичная модель (ЛКМ) широко используется для прогнозирования контроля опухоли и токсичности после традиционной лучевой терапии и для определения оптимального плана лечения. В лучевой терапии при выборе эффективного плана лечения из ряда альтернативных обычно используются определенные радиобиологические модели с целью количественной оценки уровней лучевого воздействия на нормальные и опухолевые ткани. При этом допустимое множество планов должно обеспечивать такие условия облучения очага опухолевого заболевания, которые приведут к необратимому разрушению опухолевого процесса без серьезных лучевых осложнений в нормальных органах и тканях. Относительная радиочувствительность опухолевых клеток зависит от ряда факторов: способности клеток устранять повреждение, гипоксии, периода клеточного цикла и доли растущих клеток. Кроме того, возможность ликвидации опухоли определяется ее начальным объемом.

Эти модели сохраняют свое значение в радиологии, но не позволяют конкретизировать характер реакции различных тканей и опухоли на облучение, учесть неполную репарацию при двух и более фракциях в день, откорректировать дозу, если первая фракция выполнена неверно. Более широкие возможности в этом плане имеет линейно-квадратичная модель (ЛКМ), основанная на теории клеточной выживаемости. Базовое уравнение, определяющее фракцию клеток S , выживших после облучения, имеет вид:

$$S(d) = \prod_{i=1}^N \exp(-\alpha d_i - \beta d_i^2) = \exp(-\sum_{i=1}^N (\alpha d_i + \beta d_i^2)), \quad (1)$$

где d_i – доза в i -ом сеансе, а α и β – параметры модели; α характеризует начальный наклон кривой выживаемости и соответствует одно мишенной и одноударной гибели клеток, а β характеризует сублетальное повреждение клеток.

Для выжившей фракции клеток S эффект E от облучения рассматривается как:

$$E = -\ln \ln(S) = \sum_{i=1}^N (\alpha d_i + \beta d_i^2). \quad (2)$$

Пусть d – разовая доза (доза за сеанс), N – число сеансов облучения. Тогда суммарная доза:

$$D = Nd. \quad (3)$$

Уравнение примет вид:

$$E = N(\alpha d + \beta d^2) = \alpha D + \beta d D = D(\alpha + \beta d), \quad (4)$$

где E – безразмерная величина и, следовательно, параметр α должен иметь размерность Гр⁻¹, а β , соответственно, Гр².

Применение данной модели в ряде случаев позволяет определять толерантные дозы при равномерных схемах терапии. В радиологии хорошо известны трудности, связанные с идентификацией параметров ЛКМ. В основном они связаны с тем, что исходная клиническая информация в большинстве случаев соответствует стандартной схеме фракционирования дозы (5 фракций в неделю с разовой дозой $d = 2$ Гр).

Один из вариантов линейно-квадратичной модели: LQED2 («Linear-quadratic equivalent dose for 2 Gy fractions»):

Предположим, что используется стандартный режим фракционирования с полной дозой D_{ref} и дозой за фракцию s . Для изо эффекта E является константой, как и α и β для данного типа ткани и данного конечного результата.

$$D \left(1 + \frac{d}{\alpha} \right) = D_{ref} \left(1 + \frac{d_{ref}}{\alpha} \right), \quad (5)$$

где D – новое значение полной дозы. Результирующее изоэффективное соотношение имеет вид:

$$\frac{D}{D_{ref}} = \frac{d_{ref} + \alpha/\beta}{d + \alpha/\beta}. \quad (6)$$

Если в качестве d_{ref} взять стандартную дозу за фракцию, равную 2 Гр, то получим простой метод сравнения эффективности режимов фракционирования, имеющих различные полные дозы за фракцию. Идея метода состоит в конвертировании каждого режима в эквивалентный режим по 2 Гр за фракцию, дающий такой же биологический эффект. Результирующая формула имеет вид:

$$EQD_2 = D \frac{d + \alpha/\beta}{2 + \alpha/\beta}, \quad (7)$$

где EQD_2 – суммарная толерантная доза для стандартной схемы фракционирования дозы (2 Гр на очаг опухолевого поражения за сеанс, 5 сеансов облучения в неделю), которая биологически эквивалентна полной дозе D , передаваемой в режиме с фракционной дозой, равной d_{ref} . Значения EQD_2 могут численно суммироваться для отдельных частей режима облучения, осуществляющихся с разными разовыми дозами. Для того, чтобы найти эквивалент на 2 Гр при дозе на Loc 65Гр, Total Dose=56Гр.

$$EQD_2 = 56 \frac{3,25 + 3}{2 + 3} = 64,96 \text{ Гр.}$$

Индекс гомогенности (HI) и индекс конформности (CI) есть инструменты для анализа плана лечения при конформной лучевой терапии, что, несомненно, делает использование необходимым для повышения качества проводимой лучевой терапии.

Расчетная формула для индекса гомогенности:

$$HI = \frac{D_5}{D_{95}}. \quad (8)$$

D_5 – минимальная доза в 5% от целевого объема и D_{95} – минимальная доза в 95% от целевого объема. Идеальное значение равно 1, и оно увеличивается по мере того, как план становится менее однородным.

Расчетная формула для индекса конформности:

$$CI = \frac{V_{95\%}}{V_{PTV}}. \quad (9)$$

Немаловажный параметр оценки плана лучевой терапии время длительности сеанса:

$$T = \frac{\text{Сумма Мониторных Единиц за все фракции}}{\text{Мощность дозы (монит. ед./мин)}}. \quad (10)$$

Таблица 1 – Сравнение дозовой нагрузки и индексов конформности, гомогенности с применением разных схем фракционирования (последовательный boost, интегрированный boost)

Пациент №	Bladder, Gr		Rectum, Gr		Femur(right), Gr		Femur(left), Gr		CI	HI
	Послед.	Интегрир.	Послед.	Интегрир.	Послед.	Интегрир.	Послед.	Интегрир.		
1	60	50,6	40,89	49,6	50,1	45,1	43,6	43,4	1,15	0,98
2	74,2	76,5	24,7	39,3	45	52,5	44	48,5	1,08	0,95
3	48	43,4	27	46,4	40,2	35	39	44,1	1,08	0,95
4	73,9	77,2	40,3	47,5	48,6	49	47,3	45,9	1,15	0,98
5	65,3	50,2	55,3	50	40,8	41	44,3	40,6	1,08	0,95
6	71,1	65,3	40,6	38	48	49	39,9	41	1,08	0,95
7	60	48	55,5	60	52,3	45,6	36,1	33,9	1,15	0,98
8	64,4	64,3	47	40,5	43,6	40,1	47,8	44,2	1,15	0,98
9	70,1	70	28,3	27	40,8	45	43,3	43,1	1,15	0,98
10	66,5	58,2	54,9	55,8	51,2	45,9	44,9	48,6	1,08	0,95

Таблица 2 – Оценка времени длительности сеанса с применением разных схем фракционирования (последовательный boost, интегрированный boost).

№	T,min									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вся зона	3,8	3,9	3,2	2,66	3,5	3,1	3	3,9	3,8	3,2
Локальная зона	2,3	2,88	2,5	2,09	2,7	2,01	2,4	2	2,6	2,04
Boost	2,5	4,3	0,8	4,3	1,1	0,8	0,9	4,1	1	1,1

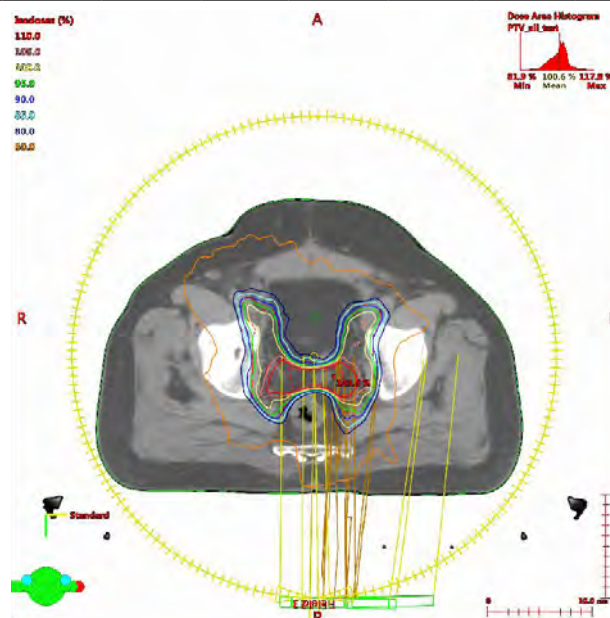


Рисунок 1 – Дозовое распределение с применением интегрированного boost

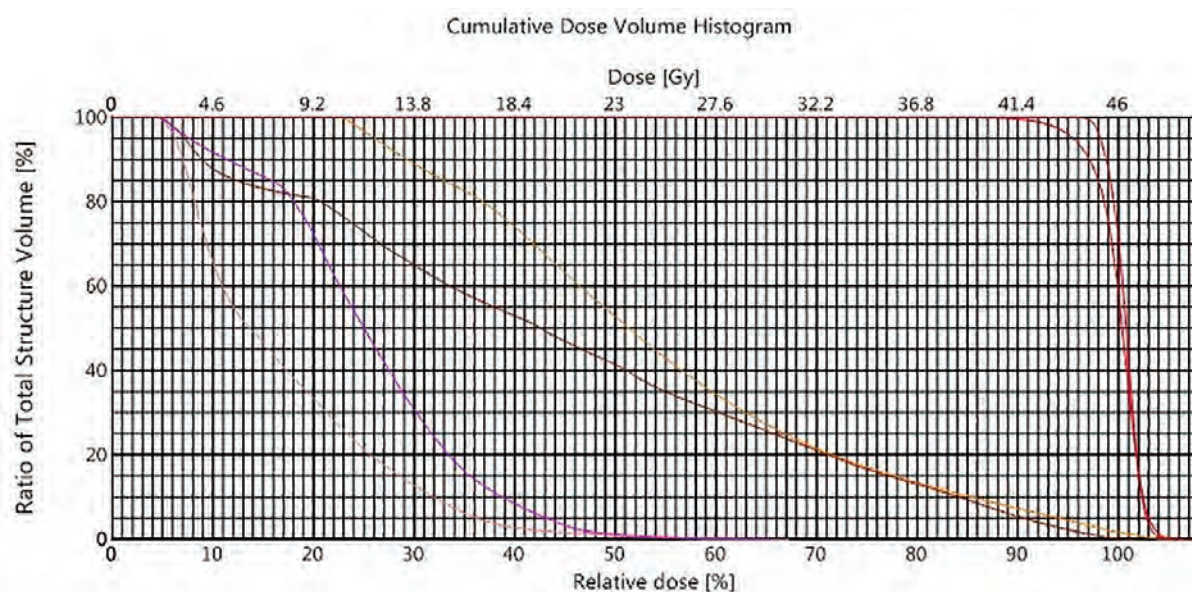


Рисунок 2 – Гистограмма кумулятивного объема дозы

В результате анализа полученных результатов были сделаны следующие заключения. Оптимальной методикой облучения пациентов, страдающих раком предстательной железы, является план лучевой терапии с применением интегрированного boost. Это связано с тем, что, с применением этой схемы фракционирования дозовая нагрузка и время длительности сеанса наименьшие, индекс конформности и гомогенности в пределах допустимости.

Таким образом, в данной работе авторами был произведена оценка и количественный анализ дозиметрических и временных параметров планов лучевой терапии с применением разных схем фракционирования (последовательный boost, интегрированный boost). План лучевой терапии с применением интегрированного boost является оптимальной методикой облучения пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kutcher, G.J. and al., «Histogram reduction method for calculation complication probabilities for three-dimensional treatment planning evaluation», Int.J. Radiation oncology.
2. Tejinder, K., Kuldeep, S. Homogeneity Index: An objective tool for assessment of conformal radiation treatments / Tejinder K., Kuldeep S. – 2012.
3. Количественный анализ повреждений здоровых органов и тканей при проведении лучевой терапии злокачественных новообразований (Проект QUANTEC). Обзор толерантности нормальных тканей / Пер. с англ.; под об. ред. проф., д-ра мед. наук С.И. Ткачева и к.т.н. Т.Г. Ратнер. – М.: АМФР, 2016. – 250 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК В ЗОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

USE OF INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE ASSESSMENT OF DOSE LOADS IN THE ZONE OF CHRONIC RADIATION IMPACT IN THE GOMEL REGION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

В. В. Журавков^{1,2}, О. А. Антонович^{1,2}

V. V. Zhuravkov^{1,2}, O. A. Antonovich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
eis@iseu.by, zhvl@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В статье предоставлены результаты полученные в рамках выполнения задания «Оценить дозовые нагрузки и эффекты ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия», ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма 3 «Радиация и биологические системы» на 2021-2025 год.

The article presents conceptual approaches to retrospective assessment and predictive modeling of radioactive contamination of the territory of the Republic of Belarus as a result of the Chernobyl accident. The work was carried out within the framework of project 3.01 «Investigation of the effect of ionizing radiation in a wide range of doses and with the variability of radiation characteristics at different levels of organization of a living organism», GPNI «Natural resources and the environment» of the subprogram «Radiation and biological systems» for 2021-2025.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, загрязнение основных компонентов биогеоценозов, дозовые нагрузки.

Keywords: radiation monitoring, contamination of the main components of biogeocenoses, dose.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-356-359>

Введение. Уровни радиоактивного загрязнения основных компонентов экосистемы Беларуси на разных временных этапах после аварии на ЧАЭС во многом определяют приоритеты в прикладных радиоэкологических исследованиях и приоритетных задачах по защите населения. В данной работе представлены результаты многолетних лабораторных исследований по динамике радионуклидного состава загрязнения приземного воздуха и подстилающей поверхности в результате аварии на ЧАЭС.

В настоящий момент времени, по нашим данным, в зоне наблюдения Гомельской, Витебской и Гродненской областях Республики Беларусь радиационная обстановка обусловлена радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr . Значительно возрастает миграция ^{90}Sr в почве в результате деструкции топливных частиц и, как следствие ^{90}Sr мигрирует вглубь почвы.

Кроме того, в Гомельской области происходит накопление америция-241 за счет радиоактивного распада плутония-241. Максимальный уровень загрязнения америцием-241 установится к 2060 году и превысит загрязнение плутония в 2,7 раза, при этом территории с уровнем загрязнения $^{238+239+240}\text{Pu} + ^{241}\text{Am}$ до 1000 Бк/м², возможно, выйдут за пределы 30-км зоны.

Полученные результаты по определению наиболее значимых радионуклидов в зоне наблюдения Гомельской, Витебской и Гродненской областях Республики Беларусь и определяемые ими уровни радиоактивного загрязнения компонентов экосистемы Беларуси будут использованы для оценки последствий поступления радионуклидов в окружающую среду для биоты и прогнозирования развития радиоэкологической ситуации на рассматриваемых территориях, что важно для практического использования в организациях, принимающих организационные решения.

Материалы и методы исследования. В динамике загрязнения территории Республики Беларусь радионуклидами, выброшенными во внешнюю среду вследствие аварии на ЧАЭС, можно выделить следующие этапы (рис. 1): I. Йодно-нептуновый этап; II. Этап стабилизации радиационной обстановки; III. Цезиево-стронциевый этап; IV. Актинидный этап.

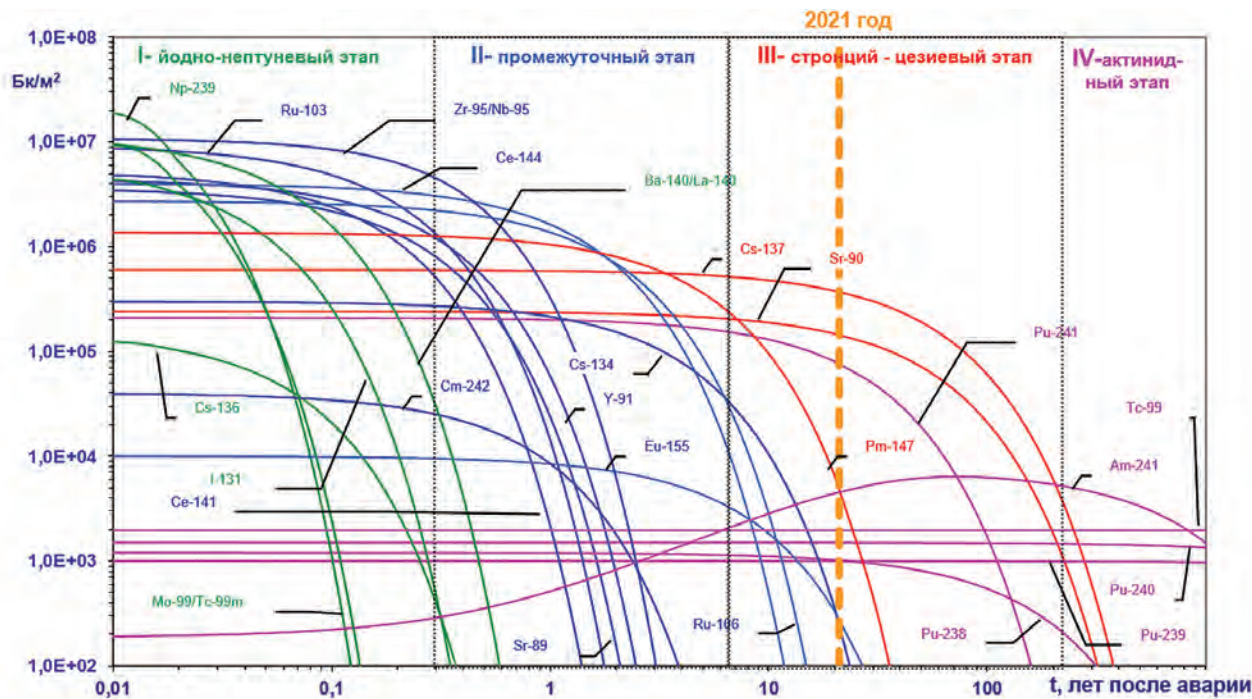


Рисунок 1 – Динамика радиоактивного загрязнения почвы на реперной площадке Масаны на основе экспериментальных данных

I. Йодно-нептуновый этап: на основании аналитического обзора многочисленных опубликованных экспериментальных и расчетных данных была восстановлена динамика развития радиационной обстановки на активной стадии аварии для Гомельской области. При реконструкции радиационной обстановки использовались следующие экспериментальные данные и положения:

1. Банк данных для Беларуси (более 19000 пунктов, сформированный в ИРБ НАН Беларуси [1]), содержащий информацию о населении, загрязнении почвы, воздуха изотопами йода, ^{132}Te , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , $^{103}, ^{106}\text{Ru}$, ^{133}Xe , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{239}Np , ^{156}Eu .

2. Данные прямых измерений суточных выпадений изотопов йода используя формулу (1) и данные реконструкции ^{131}I по ^{129}I [2, 3, 4, 5, 6]:

$$\sigma_I(t_i) = \sum_{k=1}^i \sigma_k \eta_k \exp(-\lambda t_i), \quad (1)$$

где σ_k – суточное количество выпадений йода-131, $\text{кБк}/\text{м}^2$, приведенное к 26.04.86 г.; $\eta_k(t)$ – доля ^{131}I от общего количества выпадений ^{131}I , которая приходится на день t и приведена к 26.04.86 г.; t_i – время, прошедшее с момента аварии, сут; λ – константа радиоактивного распада ^{131}I , равная 0,0862 1/сут.

3. В случае отсутствия данных прямых планшетных измерений ^{131}I , производилась реконструкция по данным ^{137}Cs [23, 24] (за вычетом глобальных выпадений ^{137}Cs), по формуле:

$$\sigma_I(t_i) = \sum_{k=1}^i \eta_k(t) \exp(-\lambda t_i) k \sigma_{\text{Cs}}, \quad (2)$$

где t_i – время, прошедшее с момента аварии, сут; $\eta_k(t)$ – доля ^{131}I от общего количества выпадений ^{131}I , которая приходится на день t , приведенная к 26.04.86 г.; k – отношение интеграла выпадений йода-131 к интегралу выпадений цезия-137 для данного н.п., приведенное к 26.04.86 г.; σ_{Cs} – интегральное количество ^{137}Cs , выпавшего на поверхность почвы и травы в н.п., $\text{кБк}/\text{м}^2$ (за вычетом глобальных выпадений ^{137}Cs), приведенное к 26.04.86 г.

На основании данных реконструкции радиационной обстановки территории Республики Беларусь и используя ГИС-технологии (Quantum GIS и ArcView-10.6.1), построены карты динамики загрязнения территории Гомельской области Беларуси ^{131}I в период с 26.04.05 по 03.05.86 (рис. 2).

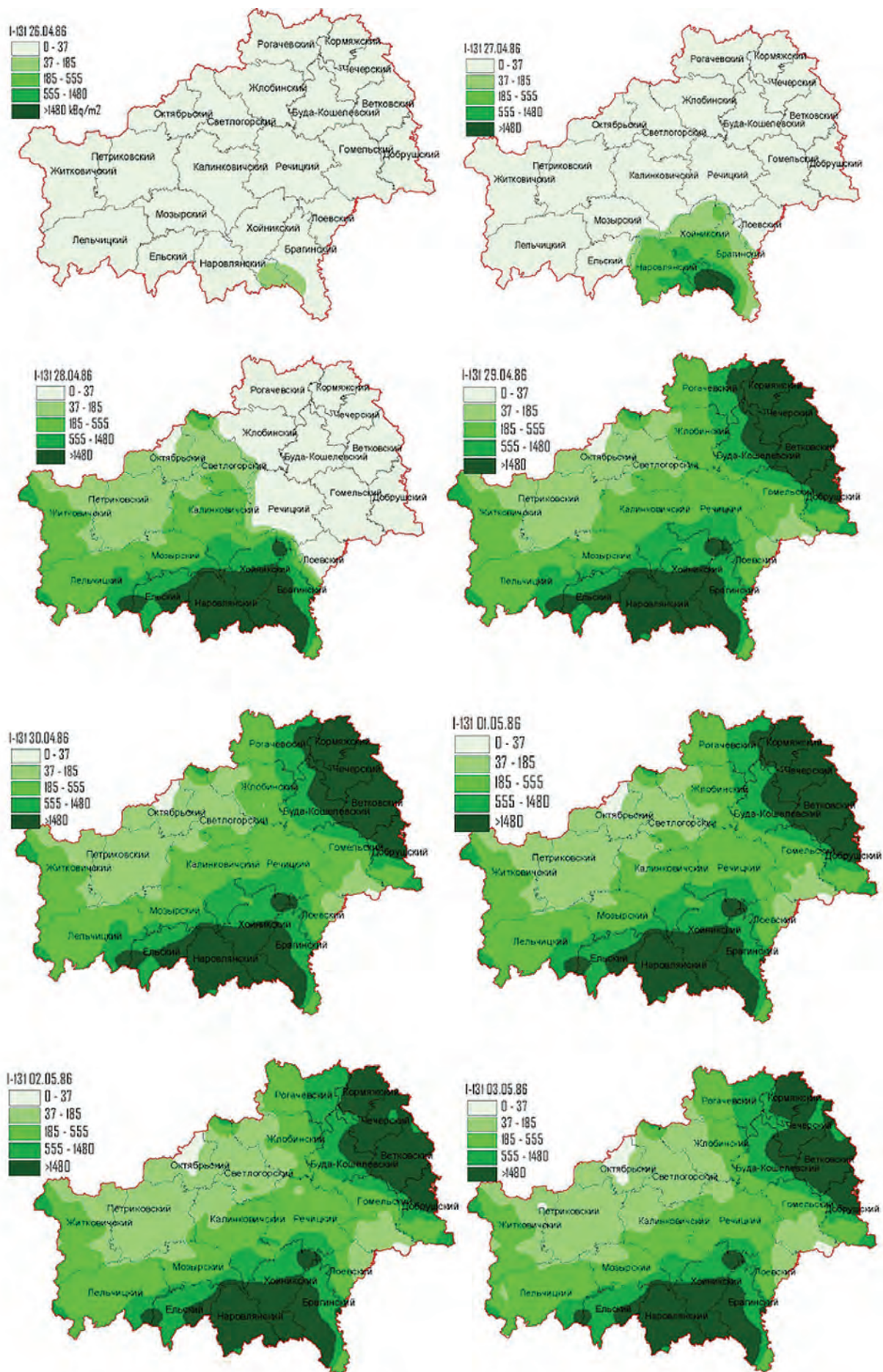


Рис 2 – Динамика загрязнения поверхности территории Гомельской области I-131, $\text{кБк}/\text{м}^2$

Используя данные реконструкции радиационной обстановки, были оценены средние групповые дозы облучения щитовидной железы для жителей Республики Беларусь. На рисунке 3 приводятся карты средних групповых доз (дети, подростки, взрослые) с 26 апреля по 5 мая 1986 г.

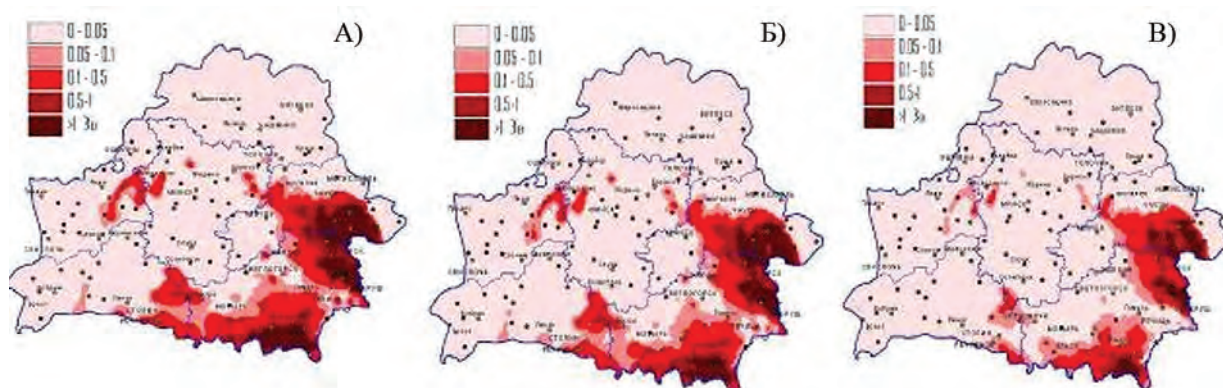


Рисунок 3 – Средняя групповая доза: А) – дети до 5 лет на момент аварии, Б) – подростки от 5 до 17 лет на момент аварии, В) – взрослые от 17 лет

II. Этап стабилизации радиационной обстановки и III. Цезиево-стронциевый этапы: Второй и третий этапы характеризуются тем, что за счет радиоактивного распада снизилось радиоактивное загрязнение короткоживущими радионуклидами ($T_{1/2}$ менее года). Началась деструкция топливных частиц и миграционные процессы ^{90}Sr . Третий этап характеризуется в основном радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr .

IV. Актинидный этап: В результате вертикальной и горизонтальной миграции снизилось загрязнение плутонием-241, цезием-137 и стронцием-90. Загрязнение в основном определяется плутонием-239, плутонием-240 и америцием-241.

Заключение. Таким образом, в момент прохождения радиоактивного облака (первый этап) основной вклад в загрязнение территории Гомельской области Республики Беларусь определяли изотопы ^{131}I , ^{132}I (^{132}Te).

Радиационная обстановка на втором и третьем этапах в основном обусловлена радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr . На территории Беларуси ситуация облучения характеризуется как ситуация существующего облучения.

На актинидном этапе загрязнение ^{241}Am превышает загрязнение $^{239,240}\text{Pu}$. Рост содержания ^{241}Am в компонентах экосистемы в юго-восточной части Республики Беларусь в результате естественного распада ^{241}Pu .

Анализ карт средних групповых доз показывает территории Республики Беларусь, жители, которых получили большие дозовые нагрузки на щитовидную железу от короткоживущих изотопов йода и позволяет выделить районы Беларуси, население которых подверглось сильному радиоактивному загрязнению и в дальнейшем следует уделять повышенное внимание при медицинском обследовании населению, проживающему именно в этих районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конопля Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Короткоживущие радионуклиды на территории Беларуси / Е.Ф. Конопля, В.П. Миронов, В.В. Журавков. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 198 с.
2. Махонько В.А., Козлова Е.Г. Динамика накопления радиойода на почве после аварии на ЧАЭС. // Радиация и риск. – Обнинск, 1996. – Вып. 7. – С. 140–191.
3. Mironov V., Kudrjashov V., Yiu F., Raisbeck G.M. Use of ^{129}I and ^{137}Cs in soils for the estimation of ^{131}I deposition in Belarus // J. Environ. Radioactivity. – 2002. – Vol. 59. – P. 293–307.
4. Straume T., Marchetti A.A., Anspaugh L.R., et. al. The feasibility of using ^{129}I to reconstruct ^{131}I deposition from the Chernobyl reactor accident // Health Physics. – 1996. – V.71, No 5. – P.733–740.
5. Gavrilin Y., Khrouch V., Drozdovich V., Minenko V. Estimation of thyroid doses received by the population of Belarus as a result of the Chernobyl accident // The radiological consequences of the Chernobyl accident: Proceeding of the first international conference, Minsk, 18 to 22 march 1996. – Minsk. – 1996. – P.1018–1019.

**РАЗРАБОТКА ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИНТЕРФЕЙСА
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ
СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ОРШИ И ОРШАНСКОГО РАЙОНА**

**DEVELOPMENT OF A WEB-ORIENTED INTERFACE FOR A RETROSPECTIVE
ANALYSIS OF THE DATA OF THE ONLINE MONITORING SYSTEM OF THE STATE
OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS OF ORSHA AND ORSHA DISTRICT**

В. В. Журавков^{1,2}, Б. А. Тонконогов^{1,2}, П. К. Шалькевич^{1,2}

V. V. Zhuravkov^{1,2}, B. A. Tonkonogov^{1,2}, P. K. Shalkevich^{1,2}

¹*Белорусский государственный университет, БГУ*

²*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
eis@iseu.by, zhvl@mail.ru*

¹*Belarusian State University, BSU*

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

В статье предоставлены результаты полученные в рамках выполнения задания «Сопровождение системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района с разработкой веб-ориентированного интерфейса» подпрограммы «Национальная система мониторинга окружающей среды» Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 февраля 2021 г. № 99.

The article presents the results obtained within the framework of the task “Maintenance of the online monitoring system for the state of environmental components in Orsha and Orsha district with the development of a web-based interface” of the subprogram “National Environmental Monitoring System” of the State Program “Environmental Protection and Sustainable Use of Natural Resources” for 2021–2025, approved by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated on February 19, 2021 No. 99.

Ключевые слова: геоинформационной системы, информационно-аналитический ресурс, многоуровневая региональная Web-ориентированная система.

Keywords: geographic information system, information and analytical resource, multi-level regional Web-oriented system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-360-363>

Введение. Одной из ключевых задач развития информатизации в Республике Беларусь является создание единой многоуровневой региональной веб-ориентированной геоинформационной системы на основе принципов пространственного краудсорсинга и концепции общественной ГИС, развитие 3D-ГИС и электронных услуг на их основе, а также реализация концепции открытых данных, в том числе посредством создания национального портала открытых данных как основного инструмента их распространения и стимулирования создания на их основе электронных услуг [1].

Информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» – автоматизированная информационная система районного уровня, основанная на веб-технологиях, отображающая объекты местности в виде их картографического представления и связанного с ним информационного описания и предоставляющая инструменты по работе с ними.

Для органов государственной и местной власти информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» представляет собой инструмент поддержки принятия управленческих решений на основе использования государственных информационных ресурсов.

Для руководителей и специалистов министерств и ведомств, Витебского областного исполнительного комитета, Оршанского районного исполнительного комитета, подведомственных и иных организаций, выполняющих свои функции на территории района, информационный ресурс «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» представляет собой инструмент создания, накопления и систематизации учетных данных, удаленного обмена информацией, получения и предоставления статистических, картографических и других отчетных сведений об объектах и процессах, находящихся в их сфере ответственности.

Материалы и методы исследования. В результате выполнения задания «Сопровождение системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района с разработкой веб-ориентированного интерфейса» Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 202–2025 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 февраля 2021 г. № 99, были выполнены следующие задачи [2]:

Разработан веб-ориентированный интерфейс для редактирования данных информационного ресурса, включающего создание:

- новой временной платформы <https://m.hardrock.by> для тестирования программных модулей и компонентов, позволяющих манипулировать данными и обрабатывать их с целью проведения ретроспективного анализа в среде информационного ресурса, а также апробации элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для интерпретации и визуализации данных (создания графических зависимостей и гистограмм) при их ретроспективном анализе в среде информационного ресурса;
- программных модулей и компонентов, позволяющих создавать, редактировать и удалять картографические объекты и их атрибуты в базе данных и посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;
- программных модулей и компонентов, позволяющих обрабатывать, сортировать, передавать и отображать данные посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;
- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для создания, редактирования и удаления картографических объектов и их атрибутов в базе данных информационного ресурса;
- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для обработки, сортировки, передачи и отображения данных посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса.

Веб-ориентированный интерфейс для проведения ретроспективного анализа и редактирования данных информационного ресурса системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района предназначен для обеспечения возможности редактирования данных о состоянии окружающей среды через административную панель управления и возможности обработки этих данных посредством специальных программных компонентов для построения временных диаграмм [3].

Разрабатываемый веб-ориентированный интерфейс должен позволять пользователям манипулировать данными и обрабатывать их с целью проведения ретроспективного анализа в среде информационного ресурса, а также отображать данные в виде графических зависимостей при их ретроспективном анализе в среде информационного ресурса. Основные цели создания веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа и редактирования данных информационного ресурса системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района заключаются в предоставлении специальных средств для [3, 4]:

- ввода, редактирования и удаления данных о состоянии компонентов окружающей среды;
- выполнения ретроспективного анализа на основе данных о состоянии компонентов окружающей среды, внесенных в базу данных (БД) информационного ресурса.

При создании веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа и редактирования данных информационного ресурса системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района должны быть достигнуты следующие цели в части разработки:

- программных модулей и программных компонентов, позволяющих создавать, редактировать и удалять картографические объекты и их атрибуты в базе данных и посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;
- программных модулей и программных компонентов, позволяющих обрабатывать, сортировать, передавать и отображать данные посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса;
- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для создания, редактирования и удаления картографических объектов и их атрибутов в базе данных информационного ресурса;
- элементов управления веб-формы графического пользовательского интерфейса и обработчиков событий для обработки, сортировки, передачи и отображения данных посредством графического пользовательского интерфейса информационного ресурса.

Исходными данными для достижения обозначенных целей являются:

- нормативно-правовые и технические нормативно-правовые акты в области охраны окружающей среды, в том числе в части мониторинга окружающей среды (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 14.07.2003 № 949 «О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь» и др.);
- данные мониторинговых наблюдений в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС) за природными и антропогенными объектами, расположенными на территории г. Орши и Оршанского района, описание внутренних форматов и кодов электронной карты г. Орши и Оршанского района для картографического представления результатов;
- иные данные, полученные от Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, его подчиненных организаций, научных организаций и учреждений, главного информационно-аналитического

центра НСМОС, информационно-аналитического центра мониторинга (ИАЦ) атмосферного воздуха, ИАЦ мониторинга поверхностных вод, ИАЦ локального мониторинга, ИАЦ мониторинга подземных вод.

Скриншоты информационного ресурса представлены на рисунках 1–4.

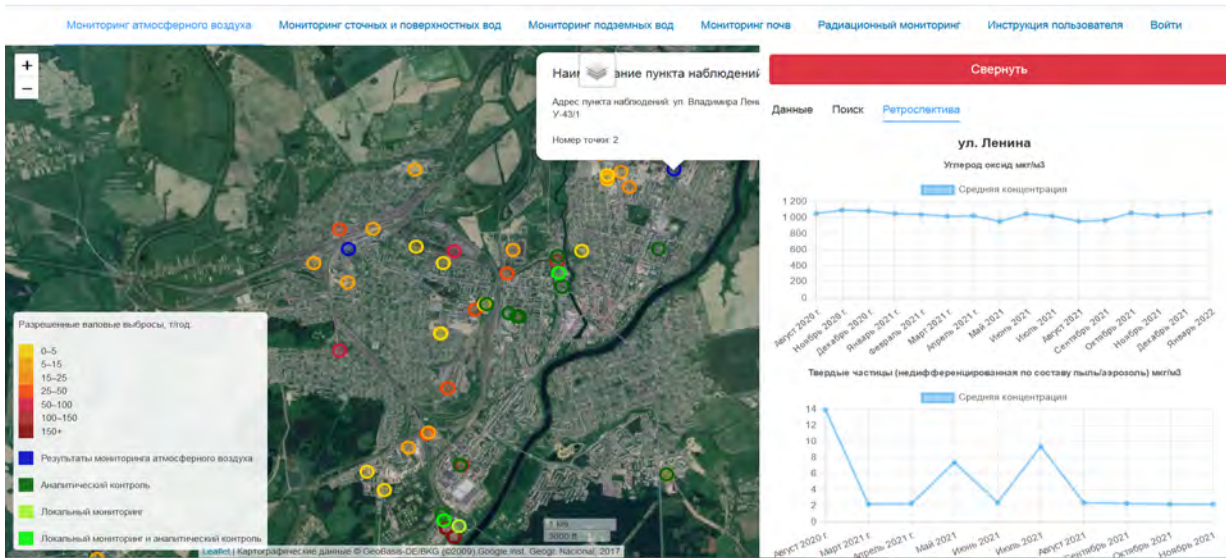


Рисунок 1 – Результаты ретроспективного анализа мониторинга атмосферного воздуха

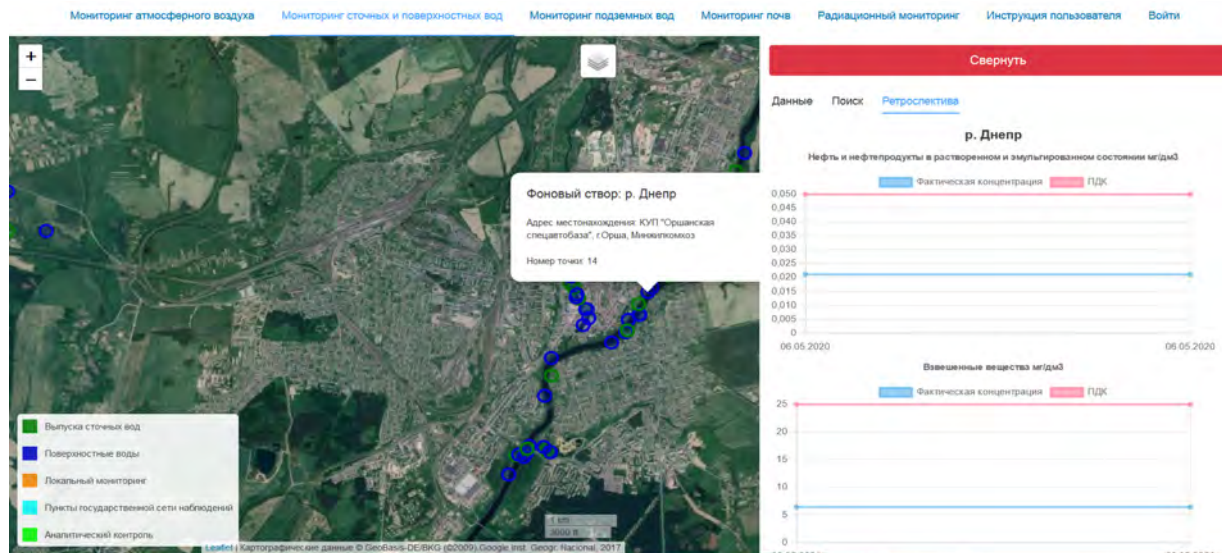


Рис 2 – Результаты ретроспективного анализа мониторинга сточных и поверхностных вод

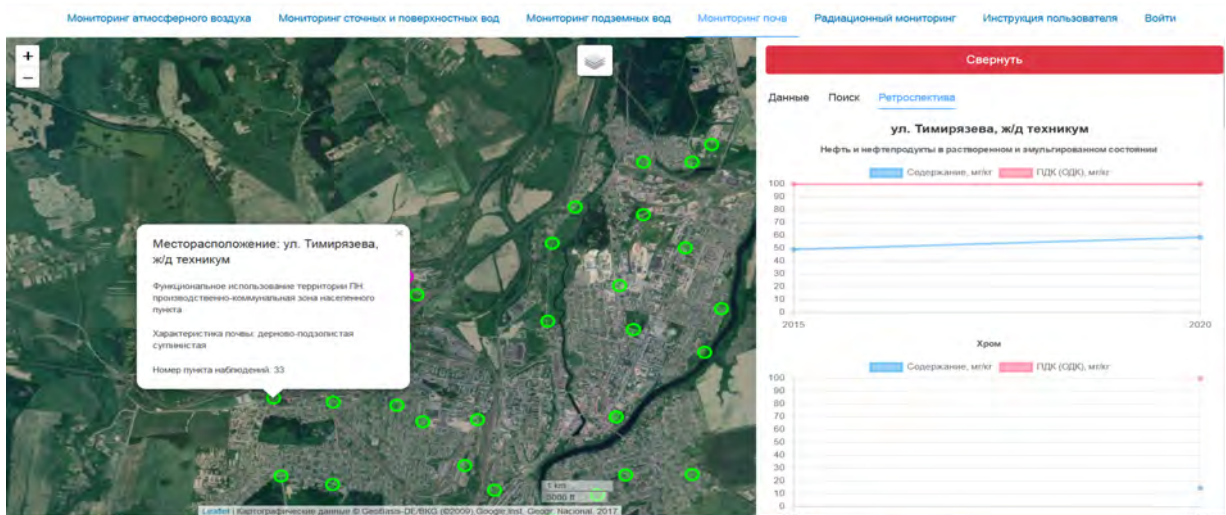


Рисунок 3 – Результаты ретроспективного анализа мониторинга сточных и поверхностных вод

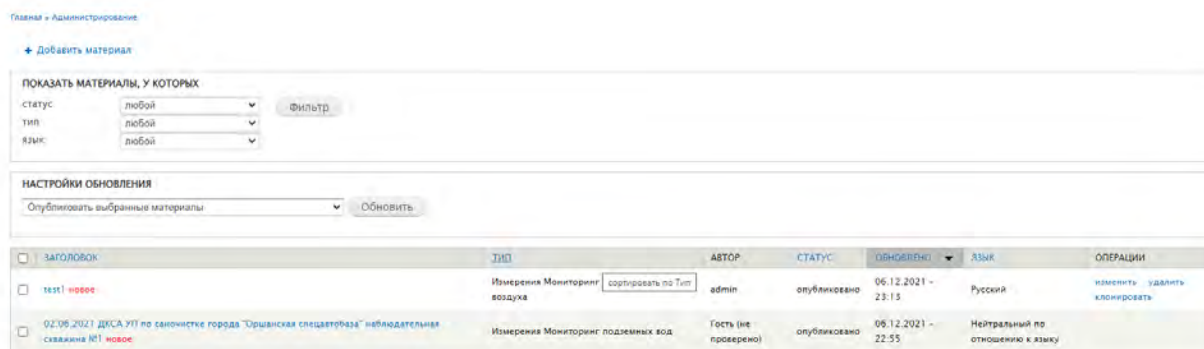


Рисунок 4 – Интерфейс для ввода данных

Закключение. Таким образом, использование информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» в управлении хозяйством Оршанского района позволяет создать универсальную модель, предназначенную для комплексного представления объектов планирования и управления территорией района, ее аналитического изучения и мониторинга на основе современных ГИС и веб-технологий..

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол заседания Президиума Совета Министров от 03.11.2015 № 26 «Об утверждении Стратегии развития информатизации в Республике Беларусь на 2016 - 2022 годы.
2. Журавков, В.В. Современные ГИС технологии при разработке информационного ресурса «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» / В.В. Журавков., Б. А. Тонконогов // Материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 марта 2021 г.; Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. – Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2021. 332–334 с. ISBN 978-985-5275880.
3. Zhuravkov, V.V. Development of information-analytical resource «Online monitoring system of environmental components' state of Orsha town and Orsha district» / Zhuravkov V.V., Tonkonogov B.A. // XXII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования» 22-24 апреля 2021 г. РУДН Москва. – Москва, 2021. С. 276–280.
4. Zhuravkov, V.V. GIS technologies as an element of a decision-making system for online monitoring of the state of environmental components in Orsha city and Orsha district / Zhuravkov V.V., Tonkonogov B.A. // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии – 2021», 22-24 сентября 2021 г. – Гродно, 2021, с. 115–116.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНОВАЦИОННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ Г. ОРША

USAGE OF INNOVATIVE SOFTWARE TOOLS AND GIS TECHNOLOGIES TO SUPPORT THE ONLINE MONITORING SYSTEM OF THE STATE OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS ON THE EXAMPLE OF ORSHA

В. В. Жураков^{1,2}, Н. Д. Урбанович^{1,2}

V. V. Zhuravkov^{1,2}, N. D. Urbanovich^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
eis@iseu.by, zhvl@mail.ru, nick.urbanovich@mail.ru

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В статье представлено описание использованных инновационных программных средств и ГИС-технологий для сопровождения системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на примере г. Орша.

The article presents a description of the innovative software tools and GIS technologies used to support the system of online monitoring of the state of environmental components on the example of Orsha.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, visual studio code, vue.js, typescript, leaflet, axios, bootstrap, qgis, node.js, phppgadmin.

Keywords: information analytical system, visual studio code, vue.js, typescript, leaflet, axios, bootstrap, qgis, node.js, phppgadmin.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-363-367>

В настоящее время динамичное и успешное г.Орша в значительной степени зависит от эффективности работы органов местного управления и самоуправления, предприятий и служб, обеспечивающих решение вопросов местного значения исходя из общегосударственных интересов и интересов населения района. При этом повышаются требования к информационному обеспечению, которое должно опираться на современные технологии сбора и обработки информации, необходимой для решения многочисленных управленческих и производственных задач.

Информационно-аналитическая система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на примере г.Орша содержит такие данные, как: состояние поверхностных и сточных вод, мониторинг состояния атмосферного воздуха, мониторинг химического загрязнения почв, радиационный мониторинг.

Одной из главных задач для разработчика является выбор редактора кода для разработки программ и приложений. Выбор делается на основе анализа сложности программы и качества существующих редакторов кода. Существует множество редакторов кода, такие как Visual Studio Code, Sublime Text и IDE WebStorm.

Visual Studio Code – это легкий, но мощный редактор исходного кода, который работает на вашем рабочем столе и доступен для Windows, macOS и Linux [1]. Он поставляется со встроенной поддержкой JavaScript, TypeScript и Node.js и имеет богатую экосистему расширений для других языков (таких как C ++, C #, Java, Python, PHP, Go) и среды выполнения (например, .NET и Unity).

Данный редактор кода включает в себя отладчик, инструменты для работы с Git, подсветку синтаксиса, IntelliSense и средства для рефакторинга. Имеет широкие возможности для кастомизации: пользовательские темы, сочетания клавиш и файлы конфигурации. Распространяется бесплатно, разрабатывается как программное обеспечение с открытым исходным кодом, но готовые сборки распространяются под проприетарной лицензией. Visual Studio Code основан на Electron и реализуется через web-редактор Monaco, разработанный для Visual Studio Online. Многие возможности Visual Studio Code недоступны через графический интерфейс, зачастую они используются через палитру команд или JSON-файлы (например, пользовательские настройки). Палитра команд представляет собой подобие командной строки, которая вызывается сочетанием клавиш. Visual Studio также позволяет заменять кодовую строку при сохранении документа, символы перевода строки и язык программирования текущего документа.

Для разработки данной системы был выбран редактор кода Visual Studio Code, так как он является бесплатным продуктом от Microsoft (в отличие от WebStorm и Sublime Text) и имеет множество плагинов и расширений для любого вида разработки, не нагружающим систему.

После выбора редактора кода обычно происходит рассмотрение всех технологий, которые будут использоваться в процессе разработки. Для разработки поставленной задачи использовались следующие технологии:

1) Vue.js – библиотека, позволяющая внедрять поведение и дополнительные возможности в любой контекст, в котором выполняется JavaScript. Vue можно использовать как на отдельных страницах, решая простые задачи, так и в качестве фундамента для полноценных промышленных приложений [2]. Vue-приложение пишется с помощью HTML, CSS и JavaScript – знакомых всем инструментов, которые сразу позволяют погрузиться в работу. Vue легко интегрируется с многими популярными фреймворками для сборки и тестирования [2].

У Vue.js есть собственная официальная документация на многих языках, выложенные на vuejs.org достаточно богатой документация, как один из примеров в объяснении проектирования и разработки в браузере. Режим ручного определения данных (например, через jQuery) из HTML-DOM не нужен.

Основные библиотеки и инструменты:

- vue-router – официальный маршрутизатор для Vue.js
- vuex – централизованное управление состоянием для Vue.js
- vue-cli – стандартный инструмент для быстрой разработки на Vue.js

2) TypeScript – это подмножество JavaScript. Проще говоря, все программы JavaScript по умолчанию являются программами TypeScript. Однако в TS имеется некоторый специфический синтаксис, не позволяющий некоторым его программам быть совместимыми с JavaScript. TypeScript имеет систему типов, моделирующую выполнение JavaScript, а также обнаруживающую код, который при выполнении выдаст исключение. Несмотря на то, что TypeScript моделирует поведение JavaScript, существуют конструкции, которые JS допускает, а TS нет. К их числу относятся вызовы функций с неверными числами или аргументами [3].

TypeScript возник из-за предполагаемых недостатков JavaScript в крупномасштабных приложениях как в Microsoft, так и у прочих пользователей JavaScript. Проблемы с разработкой сложных программ на JavaScript привели к необходимости облегчения разработки компонентов языка. Разработчики TypeScript искали решение,

которое не будет нарушать совместимость со стандартом и его кроссплатформенной поддержкой. Зная, что только стандарт ECMAScript предлагает поддержку в будущем для программирования на базе классов (Class-based programming), TypeScript был основан на этом предположении. Это привело к созданию компилятора JavaScript с набором синтаксических языковых расширений, увеличенным на основе предложения, которое трансформирует расширения в JavaScript. В этом смысле TypeScript является представлением того, что ожидать от ECMAScript 6.

3) Leaflet – библиотека с открытым исходным кодом, написанная на JavaScript, предназначенная для отображения карт на web-сайтах. Поддерживает большинство мобильных и стационарных платформ из числа тех, что поддерживают HTML5 и CSS3. Leaflet позволяет разработчику, не знакомому с ГИС, легко отображать растровые карты, состоящие из маленьких фрагментов – тайлов, с, возможно, дополнительными слоями, накладываемыми поверх основного. Слои могут быть интерактивными, например, отображать подсказку при клике по маркеру.

Библиотека Leaflet доступна через переменную L. Leaflet поддерживает слои Web Map Service (WMS), GeoJSON, векторные и тайловые слои. Многие другие типы слоёв поддерживаются дополнительными модулями. Как и в других картографических web-библиотеках, в Leaflet реализована следующая модель: отображается базовая карта с, возможно, растровыми и векторными слоями, накладываемыми поверх неё.

Основные типы объектов Leaflet:

- Растровые типы (TileLayer и ImageOverlay)
- Векторные типы (Path, Polygon и специфические типы, такие как Circle)
- Групповые типы (LayerGroup, FeatureGroup и GeoJSON)
- Управляющие элементы (Zoom, Layers и т. д.)

Также существуют вспомогательные классы для управления проекциями, трансформаций и взаимодействия с объектной моделью документа (DOM) [4].

4) Axios – популярный HTTP-клиент, основанный на обещаниях, который поддерживает простой в использовании API и может использоваться как в браузере, так и в Node.js. Выполнение HTTP-запросов для выборки или сохранения данных – одна из наиболее распространенных задач, которые необходимо выполнить клиентскому приложению JavaScript. Сторонние библиотеки, особенно jQuery, уже давно являются популярным способом взаимодействия с более подробными API-интерфейсами браузера и абстрагирования от любых различий между браузерами.

По мере того, как люди отходят от jQuery в пользу улучшенных собственных API-интерфейсов DOM или интерфейсных библиотек пользовательского интерфейса, таких как Vue.js, включение его исключительно из-за его \$.ajax функциональности теряет смысл [5].

5) Bootstrap – свободный набор инструментов с открытым исходным кодом для создания сайтов и web-приложений. Включает в себя HTML и CSS-шаблоны оформления для типографики, web-форм, кнопок, меток, блоков навигации и прочих компонентов web-интерфейса, включая JavaScript-расширения. Bootstrap разрабатывался как *mobile first*, т. е. его настройки прежде всего оптимизированы под мобильные устройства [6].

6) QGIS – свободная кроссплатформенная геоинформационная система, состоящая из настольной и серверной части [7]:

– QGIS Desktop – настольная ГИС для создания, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации. Под «QGIS» часто имеют в виду именно QGIS Desktop.

– QGIS Server и QGIS Web Client – серверные приложения для публикации в сети проектов, созданных в QGIS Desktop, через сервисы, совместимые с OGC-стандартами (например, WMS и WFS).

QGIS работает в Windows и в большинстве платформ Unix (включая Mac OS), поддерживает множество векторных и растровых форматов и баз данных, а также имеет богатый набор встроенных инструментов.

Также, QGIS дает пользователю следующие возможности:

А) Можно просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. Поддерживаются следующие основные форматы:

– пространственные таблицы PostgreSQL с использованием PostGIS, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR, включая GeoJSON, shape-файлы ESRI, MapInfo, SDTS (Spatial Data Transfer Standard) и GML (Geography Markup Language) и др.

– Форматы растров и графики, поддерживаемые библиотекой GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), такие, как GeoTIFF, Erdas IMG, ArcInfo ASCII Grid, JPEG, PNG и др.

– Форматы World-файла вместе с поддерживаемыми типами растровых изображений

– базы данных SpatialLite

– растровый и векторный форматы GRASS (область/набор данных).

Б) С помощью удобного графического интерфейса можно создавать карты и исследовать пространственные данные. Графический интерфейс включает в себя множество полезных инструментов, например:

- перепроецирование «на лету»
- компоновщик карт
- панель обзора
- пространственные закладки
- определение/выборка объектов

- редактирование/просмотр/поиск атрибутов
- подписывание объектов
- изменение символики векторных и растровых слоёв
- добавление слоя координатной сетки – теперь средствами расширения fTools
- добавление к макету карты стрелки на север, линейки масштаба и знака авторского права
- сохранение и загрузка проектов

В) В QGIS можно создавать и редактировать векторные данные, а также экспортировать их в разные форматы. Чтобы иметь возможность редактировать и экспортировать в другие форматы растровые данные, необходимо сначала импортировать их в GRASS. QGIS предоставляет, в частности, следующие возможности работы с данными:

- инструменты оцифровки для форматов, поддерживаемых библиотекой OGR, и векторных слоёв GRASS
- создание и редактирование shape-файлов и векторных слоёв GRASS
- геокодирование изображений с помощью модуля пространственной привязки
- инструменты GPS для импорта и экспорта данных в формате GPX, преобразования прочих форматов GPS в формат GPX или скачивание/загрузка непосредственно в прибор GPS (в Linux usb: был добавлен в список устройств GPS)
- визуализация и редактирование данных OpenStreetMap
- создание слоёв PostGIS из shape-файлов с помощью плагина SPIT
- обработка слоёв PostGIS
- управление атрибутами векторных данных с помощью новой таблицы атрибутов или модуля Table Manager
- сохранение снимков экрана как изображений с пространственной привязкой

Г) Вы можете анализировать векторные пространственные данные в PostgreSQL/PostGIS и других форматах, поддерживаемых OGR, используя модуль Processing, написанный на языке программирования Python. В настоящее время QGIS предоставляет возможность использовать инструменты анализа, выборки, геопроецирования, управления геометрией и базами данных. Также можно использовать интегрированные инструменты GRASS, которые включают в себя функциональность более чем 300 модулей GRASS.

Д) Посредством модуля QTiles можно генерировать тайлы для раздачи карт по протоколу TMS. QGIS может использоваться для экспорта данных в map-файл и публикации его в сети Интернет, используя установленный web-сервер Mapserver. QGIS может использоваться как клиент WMS/WFS и как сервер WMS.

Е) QGIS может быть адаптирован к особым потребностям с помощью расширяемой архитектуры модулей. QGIS предоставляет библиотеки, которые могут использоваться для создания модулей. Можно создавать отдельные приложения, используя языки программирования C++ или Python.

7) Node.js – на официальном web-сайте Node определяется как «платформа, основанная на исполняемой JavaScript-библиотеке Chrome, которая позволяет упростить создание быстрых масштабируемых сетевых приложений. В Node.js используется событийно-управляемая неблокирующая модель ввода-вывода, легковесная и эффективная, которая превосходно подходит для разработки приложений реального времени, обрабатывающих большие объемы данных и выполняемых на распределенных устройствах» [8].

Еще несколько лет назад разработчики даже и предположить не могли, что серверные приложения будут создаваться на JavaScript. Притягательность Node для разработчиков объясняется высокой производительностью и некоторыми другими упомянутыми ранее преимуществами. Все эти преимущества обеспечивает не только JavaScript, но и то, как этот язык используется в Node.

8) PhpPgAdmin – web-приложение с открытым кодом, написанное на языке PHP и представляющее собой web-интерфейс для администрирования СУБД PostgreSQL [9].

PhpPgAdmin позволяет через браузер осуществлять администрирование сервера PostgreSQL, запускать команды SQL и просматривать содержимое таблиц и баз данных. Приложение пользуется большой популярностью у web-разработчиков, так как позволяет управлять PostgreSQL без непосредственного ввода SQL команд.

Актуальность разработки данной системы заключается в том, что состояние компонентов окружающей среды г.Орша требует надлежащего контроля. Для этого необходимо было разработать информационно-аналитическую систему онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на примере г.Орша. В процессе разработки были выполнены следующие задачи:

- Изучены и проанализированы данные о состоянии компонентов окружающей среды г.Орша для возможности нанесения их на карту.
- Осуществлен выбор средств разработки для программной реализации информационно-аналитической системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на примере г.Орша.
- Выполнены проектирование и разработка информационно-аналитической системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды на примере г.Орша.

ЛИТЕРАТУРА

1. Visual Studio Code, <https://code.visualstudio.com/docs>, [Электронный ресурс].
2. Хэнчетт Эрик, Листуон Бенджамин, Vue.js в действии. – СПб.: Питер, 2019. – 304 с.: ил. (Серия «Библиотека программиста»).

3. *Вандеркам Дэн*, Эффективный TypeScript: 62 способа улучшить код. – СПб.: Питер, 2020. – 288 с.: ил. – (Серия «Бестселлеры O'Reilly»).
4. Leaflet, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Leaflet>, [Электронный ресурс].
5. Введение в Axios, <https://www.sitepoint.com/axios-beginner-guide/>, [Электронный ресурс].
6. Bootstrap, <https://bootstrap-4.ru/docs/4.5/getting-started/introduction/>, [Электронный ресурс].
7. QGIS, <https://ru.wikipedia.org/wiki/QGIS>, [Электронный ресурс].
8. *М. Кантелон, М. Хартер, Т. Головайчук, Н. Райлих* «Node.js в действии». – СПб.: Питер, 2014.
9. PhpPgAdmin, <https://ru.wikipedia.org/wiki/PhpPgAdmin>, [Электронный ресурс].

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ РАБОТЫ С ЗАПРОСАМИ НА ПЕРЕВОД ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРОЕКТА КОМПАНИИ «NEXTSOFT»

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE TO WORK WITH REQUESTS FOR DOCUMENT TRANSLATION FOR A MEDICAL PROJECT OF THE COMPANY «NEXTSOFT»

А. Л. Карпей^{1,2}, К. С. Кохно^{1,2}

A. L. Karpeĭ^{1,2}, K. S. Kokhno^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

*²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
eis@iseu.by, kar_an@tut.by*

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, the Republic of Belarus

С использованием языка программирования TypeScript и фреймворка Angular разработан программный модуль для web-приложения, реализующий систему создания, работы и хранения информации о запросах на перевод документов с одного языка на другой.

Using the TypeScript programming language and the Angular framework, a software module for a web-application has been developed that implements a system for creating, working and storing information about requests for translating documents from one language to another.

Ключевые слова: фреймворк Angular, TypeScript, модуль переводов, JavaScript, web-приложение.

Keywords: framework Angular, TypeScript, translation module, JavaScript, web application.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-367-370>

Тема представленной работы связана с проектом компании NextSoft. Разрабатываемый этой компанией проект (web-приложение) для учреждений медико-биологического профиля выполняет огромное количество различного функционала, в том числе – хранение большого количества документов на различных языках. Учреждения, пользующиеся данной системой, могут находиться в разных уголках мира, и для работы с документами часто возникает необходимость в квалифицированном переводе на язык пользователя.

Программный модуль, представленный в данной работе, реализует систему создания и работы с запросами на перевод документов по тематике медико-биологических исследований. Основными задачами модуля являются: создание и хранение запросов, хранение информации о запросах, работа с ними, возможность добавления, изменения и удаления запросов, хранение истории действий (статуса) для каждого запроса.

Разработанный модуль является web-приложением и состоит из back-end и front-end частей.

Front-end часть web-приложение разработана с использованием языка программирования TypeScript, фреймворка Angular и различных дополнительных библиотек.

TypeScript – это популярный статический типизатор (static type checker) или типизированное надмножество (typed superset) для JavaScript, инструмент, разработанный Microsoft и добавляющий систему типов к гибкости и динамическим возможностям JavaScript. TypeScript развивается как проект с открытым исходным кодом,

распространяется под лицензией Apache 2.0, имеет очень активное и высокопрофессиональное сообщество, а также огромное влияние на экосистему JavaScript [1].

JavaScript (JS) – это язык программирования, который используют для написания front-end и back-end частей сайтов, а также мобильных приложений. JS поддерживают все популярные браузеры. Во front-end части сайтов язык используют для создания интерактива (анимаций, всплывающих форм, автозаполнения), так как он связан с HTML и CSS и может ими манипулировать. В back-end части с языком JavaScript работают на платформе Node.js. С его помощью, например, разрабатывают серверные web-приложения и подключают библиотеки. В поисковике Google на JavaScript работает строка автозаполнения, а Netflix, Uber, eBay используют его в своем back-end. Уже 6 лет JS – самый популярный язык среди разработчиков по версии GitHub [2].

Всё приложение написано с использованием фреймворка Angular. Angular представляет фреймворк от компании Google для создания клиентских приложений. Прежде всего он нацелен на разработку SPA-решений (Single Page Application), то есть одностраничных приложений. В этом плане Angular является наследником другого фреймворка AngularJS. В то же время Angular это не новая версия AngularJS, а принципиально новый фреймворк.

Angular предоставляет такую функциональность, как двустороннее связывание, позволяющее динамически изменять данные в одном месте интерфейса при изменении данных модели в другом, шаблоны, маршрутизация и так далее. Одной из ключевых особенностей Angular является то, что он использует в качестве языка программирования TypeScript.

Angular не ограничен языком TypeScript. При желании можно писать приложения на Angular с помощью таких языков как Dart или JavaScript. Однако TypeScript все-таки является основным языком для Angular [4].

Разработка приложения осуществлялась в IDE (интегрированная среда разработки) IntelliJ IDEA под названием WebStorm от компании JetBrains. Он содержит инструменты разработки, такие как текстовые редакторы, библиотеки кода, компиляторы и тестовые платформы, и состоит как минимум из инструментов автоматизации сборки и отладчика.

При разработке модуля была создана схема работы с запросами (рис. 1).

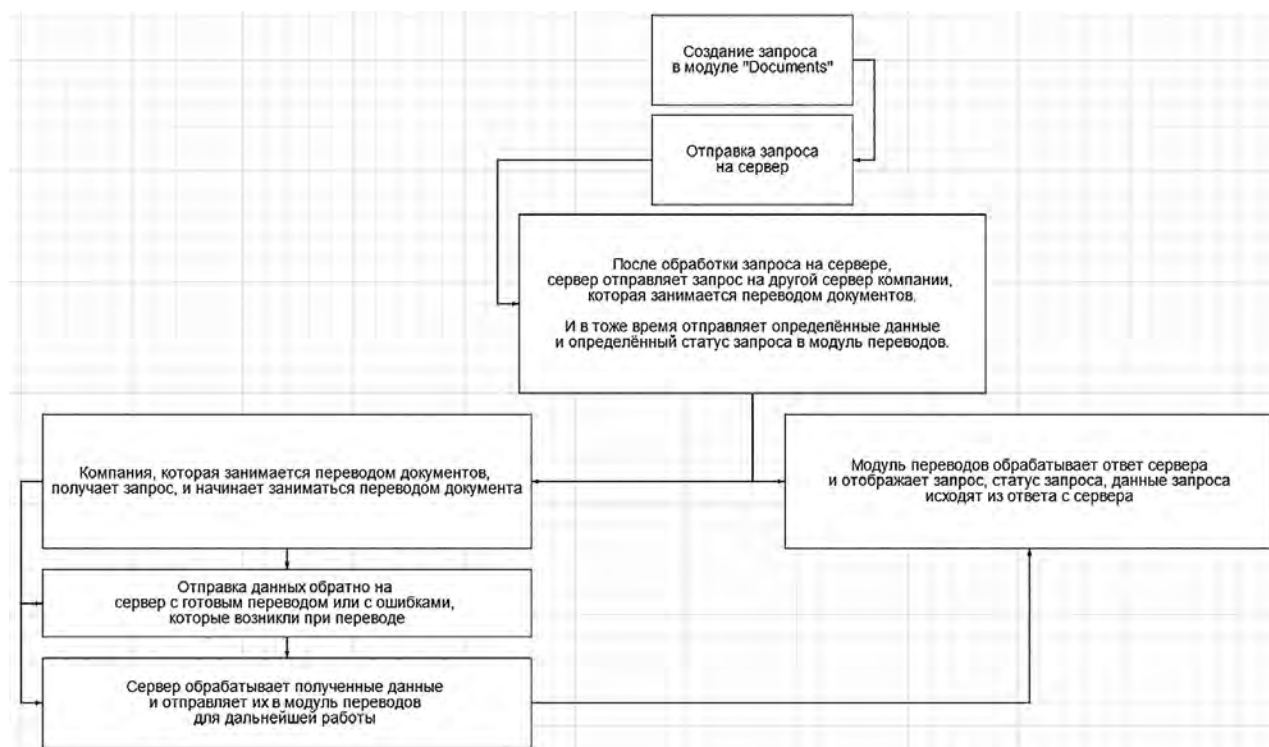


Рисунок 1 – Модель отправки и обработки запроса

Фреймворк Angular имеет определённую структуру файлов в web-приложении. Для полной работоспособности модуля данные необходимо получать с back-end стороны. Запросами на back-end в Angular отведены специальные сущности, которые имеют расширение .service.ts. В данном случае сервис имеет название TranslationService. В данном сервисе находятся запросы, которые будут реализовывать редактирование запросов, удаление запросов, получение запросов, получение данных для дерева, получение данных для coding panel. Так же в данном сервисе реализованы нужные интерфейсы, которые будут использованы в этом модуле.

Ниже перечислены основные файлы и их назначение при функционировании модуля:

– Файл translations-management.component.ts содержит в себе настройки для всего модуля. Он включает в себя различные другие компоненты, сервисы, модули, которые заполняются необходимыми настройками. Настройка в этом компоненте происходит благодаря методам. Этот файл отвечает за логику компонента, но отрисовка компонента происходит в шаблоне .html.

– Файл отвечающий за соединение с сервером называется translations.service.ts. Этот файл включает в себя методы для запроса на сервер. Есть запросы на получение данных для сетки, для дерева папок, для информации об запросе, для истории запросов.

– Файл translations-grid-adapter.component.ts содержит в себе функции для отрисовки и настройки сетки. Этот файл передаёт нужные настройки в родительский компонент translations-management.component.ts.

– Файл translations-tree-adapter.component.ts содержит в себе функции для отрисовки и настройки дерева папок. Этот файл передаёт нужные настройки в родительский компонент translations-management.component.ts.

– Файл translations-coding.component.ts содержит в себе функции для отрисовки правой панели, панели с информацией о запросе. Этот файл даёт нужные настройки в родительский компонент translations-management.component.ts. Так же в этом файле происходит обработка полученных данных с сервера для вывода данных в виде, который представлен на рисунке 4.

– Файл translations-history.component.ts отвечает за обработку и настройку истории запросов. После его настройки, так же как и предыдущие файлы, он отдаёт итоговые инструкции в translations-management.component.ts

В конечном итоге весь модуль выглядит следующим образом (рис. 2).

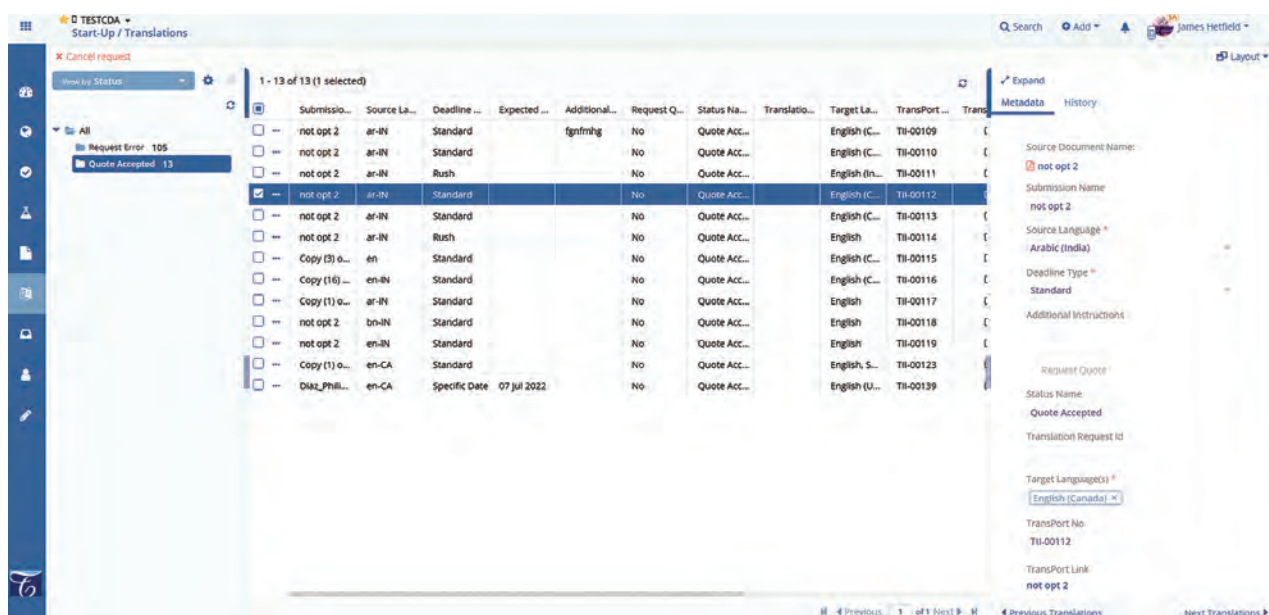


Рисунок 2 – Пример компонента модуля переводов

В модуле так же реализован различный вид вывода дерева с папками, по статусу запроса и по автору запроса. В сетке присутствует сортировка при клике на названия столбца. И для того, чтобы уменьшить нагрузку на сервер, была создана пагинация данных.

Реализация функционала по созданию запроса на перевод происходит в модуле под название "Documents"(рис.1). Данный модуль содержит в себе документы, которые были созданы для теста отправки запроса. Для создания запроса необходимо кликнуть по документу правой кнопкой мыши и в выпадающем окне выбрать пункт "Translations request". В открытом окне (рис. 3) необходимо заполнить все обязательные поля. Поле "Target Languages", отвечает за варианты языков, на которые можно перевести документ. Поле "Source Language", отвечает за текущий язык, на котором написан документ. Поле "Delivered Mode", отвечает за то, как быстро, и к какому дню надо выполнить перевод документа.

В разработанном программном модуле запросы можно удалять и редактировать. Редактирование запроса доступно только при определённом статусе запроса. К примеру, если документ уже почти переведён, то редактировать запрос нельзя, если документ только был отправлен на перевод, то запрос можно редактировать.

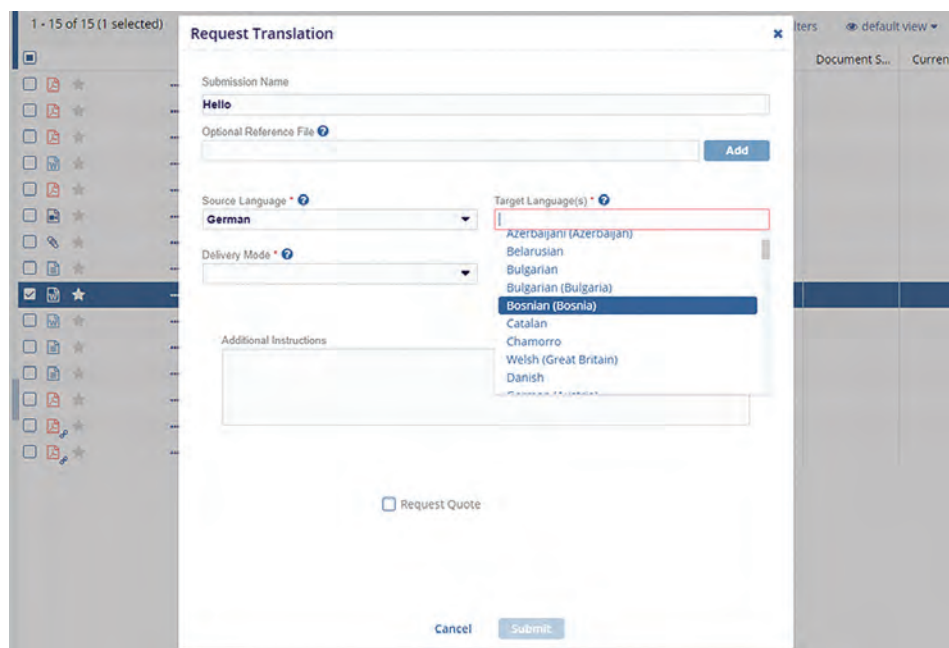


Рисунок 3 – Диалоговое окно с подготовкой отправки запроса на перевод документа

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный ресурс www.typescriptlang.org [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://www.typescriptlang.org/>. Дата доступа: 20.11.2021.
2. Информационный ресурс learn.javascript.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://learn.javascript.ru/intro/>. Дата доступа: 20.11.2021.
3. Информационный ресурс angdev.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://angdev.ru/guide/intro/start/>. Дата доступа: 20.11.2021.

QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF 2,4-DI-TERT-BUTYL-6-MORPHOLINOPHENOL COMPOUND

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ 2,4-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-6-МОРФОЛИНОФЕНОЛ

Sun Yuqi^{1,2}, Siyamak Shahab^{1,2}, Liu Yu^{1,2}, L. Padabed^{1,2}
Сунь Юйци^{1,2}, Сиямак Шахаб^{1,2}, Лю Юй^{1,2}, Л. Подобед^{1,2}

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus
 kbb@iseu.by, yingchunuu@163.com

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

This publication presents theoretical calculations applied to 2,4-di-tert-butyl-6-morpholinophenol compounds to determine their optimized state, predict its free energy, and determine the molecular orbitals involved in spectrum formation.

В данной работе представлены теоретические расчеты соединения 2,4-ди-трет-бутил-6-морфолинофенола с целью определения его равновесной структуры, полной энергии и вида молекулярных орбиталей, участвующих в формировании спектра поглощения.

Keywords: computational chemistry, PM6, UV/Vis spectrum.

Ключевые слова: компьютерная химия, PM6, УФ спектр.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-370-373>

Preliminary quantum chemical modeling of the 2,4-di-tert-butyl-6-morpholinophenol compound. For calculation, we used a personal laptop with an Intel i5 processor (2.71 GHz CPU) with the Windows 10 operating system installed. When calculating the initial geometry of a molecule with a 2,4-di-tert-butyl-6-morpholinophenol base, the method of molecular mechanics (MM+) of the ChemOffice 2020 software package was chosen. Calculation parameters depending on the specific problem. The starting geometry of the molecule was additionally optimized in the solvent medium of water by the PM6 method of the Gaussian 09W software package until the global minimum of the total energy of the systems under study was reached. To find the global energy minimum and the most stable conformers, we analyzed all stationary points on the potential energy surface of molecules. The PM6 method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances. The GaussView 6.0 program was used to visualize the results. The equilibrium geometry of the molecule by the method is shown in Figure 1.

Complete Quantum Chemical Simulation of the Equilibrium Geometry and Electronic Structure of the 2,4-di-tert-butyl-6-morpholinophenol Molecule. Full optimization and calculation of the electronic structure were carried out by the PM6 method. This method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances. The electronic spectrum of the molecule 2,4-di-tert-butyl-6-morpholinophenol was calculated for 10 one-electron excitations in the range of 246.88-595.60 nm. The results of calculation of the absorption spectrum are given in the table [1].

The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 333.95$ nm and $f = 0.2034$ (Table 1, Fig. 2,3). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 333.95 nm, which refers to the electron transition to the excited state $S_0 \rightarrow S_4$.

The theoretical absorption spectrum of an optimized molecule in a solvent medium is calculated using the Gaussian 09W software package by the PM6 method. The calculated electronic absorption spectrum of a molecule in a solvent medium is shown in Figure 2 [2].

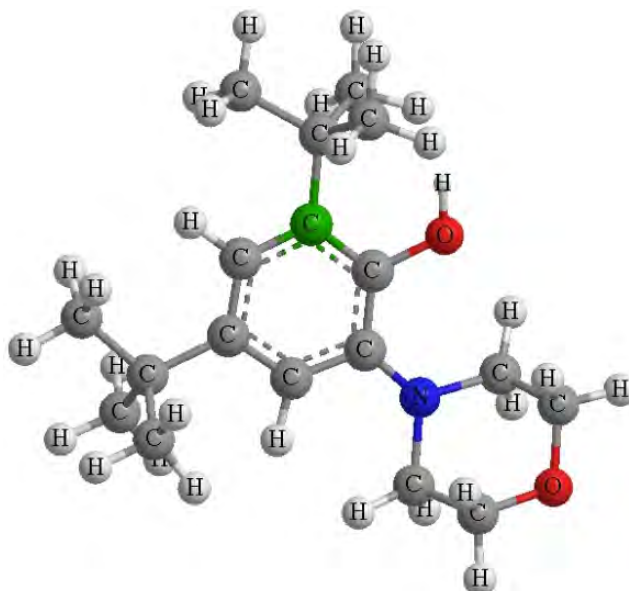


Figure 1 – Optimized molecule by PM6 method

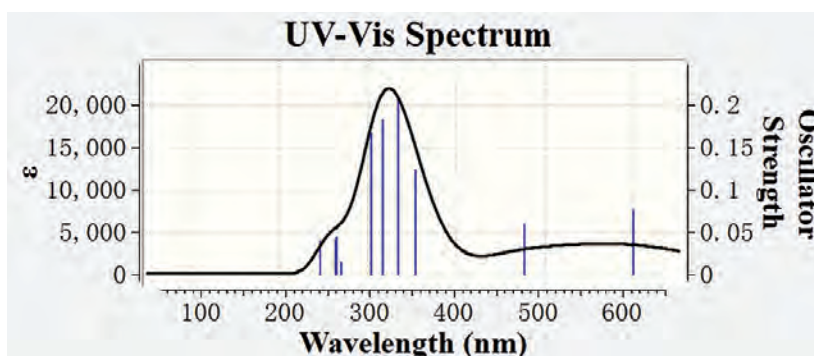


Figure 2 – UV/Vis spectrum of the compound in the solvent water

Table 1 – Electronic absorption spectrum of the compound

Excited State	Wavelength (nm)	Excitation Energy (eV)	Configurations Composition (corresponding transition orbitals)	Oscillator Strength(f)
$S_0 \rightarrow S_1$	596.60	2.0782	$0.22(58 \rightarrow 61) + 0.62(59 \rightarrow 60) + 0.12(59 \rightarrow 61)$	0.0742
$S_0 \rightarrow S_2$	476.16	2.6038	$0.12(57 \rightarrow 61) - 0.27(58 \rightarrow 60) - 0.15(59 \rightarrow 60) + 0.60(59 \rightarrow 61)$	0.0606
$S_0 \rightarrow S_3$	354.27	3.4997	$0.12(56 \rightarrow 60) - 0.10(57 \rightarrow 60) + 0.11(57 \rightarrow 61) - 0.26(58 \rightarrow 60) - 0.40(58 \rightarrow 61) + 0.14(59 \rightarrow 60) + 0.35(59 \rightarrow 62) - 0.12(59 \rightarrow 63) + 0.14(59 \rightarrow 64)$	0.1294
$S_0 \rightarrow S_4$	333.95	3.7127	$-0.14(57 \rightarrow 60) + 0.52(58 \rightarrow 60) - 0.15(58 \rightarrow 61) - 0.10(58 \rightarrow 64) + 0.26(59 \rightarrow 61) + 0.15(59 \rightarrow 62) - 0.10(59 \rightarrow 63) - 0.14(59 \rightarrow 64) + 0.10(59 \rightarrow 65)$	0.2034
$S_0 \rightarrow S_5$	318.24	3.8960	$0.10(57 \rightarrow 61) - 0.12(58 \rightarrow 60) - 0.32(58 \rightarrow 61) + 0.10(58 \rightarrow 62) + 0.15(59 \rightarrow 60) - 0.32(59 \rightarrow 62) - 0.37(59 \rightarrow 64) - 0.13(59 \rightarrow 66)$	0.1806
$S_0 \rightarrow S_6$	304.07	4.0774	$-0.16(58 \rightarrow 60) + 0.23(58 \rightarrow 61) - 0.15(58 \rightarrow 64) - 0.13(59 \rightarrow 60) - 0.11(59 \rightarrow 61) + 0.27(59 \rightarrow 62) - 0.18(59 \rightarrow 63) - 0.33(59 \rightarrow 64) + 0.21(59 \rightarrow 65) - 0.15(59 \rightarrow 66)$	0.1707
$S_0 \rightarrow S_7$	271.42	4.5679	$0.11(56 \rightarrow 62) + 0.22(56 \rightarrow 63) + 0.29(57 \rightarrow 62) + 0.36(57 \rightarrow 63) + 0.16(58 \rightarrow 62) + 0.13(58 \rightarrow 63) + 0.31(59 \rightarrow 63) + 0.14(59 \rightarrow 66)$	0.0141
$S_0 \rightarrow S_8$	266.05	4.6602	$-0.13(56 \rightarrow 62) - 0.18(57 \rightarrow 63) + 0.12(58 \rightarrow 62) - 0.14(58 \rightarrow 63) - 0.25(59 \rightarrow 64) - 0.12(59 \rightarrow 65) + 0.43(59 \rightarrow 66) + 0.12(59 \rightarrow 72) - 0.15(59 \rightarrow 74) - 0.10(59 \rightarrow 79)$	0.0425
$S_0 \rightarrow S_9$	264.57	4.6863	$-0.17(56 \rightarrow 60) + 0.21(57 \rightarrow 60) - 0.11(58 \rightarrow 61) + 0.10(58 \rightarrow 65) + 0.51(59 \rightarrow 65) + 0.20(59 \rightarrow 66)$	0.0401
$S_0 \rightarrow S_{10}$	246.88	5.0201	$0.26(56 \rightarrow 60) - 0.38(57 \rightarrow 60) + 0.13(58 \rightarrow 61) - 0.20(58 \rightarrow 62) + 0.13(58 \rightarrow 63) + 0.14(58 \rightarrow 65) - 0.14(59 \rightarrow 62) + 0.12(59 \rightarrow 65) + 0.16(59 \rightarrow 66) + 0.10(59 \rightarrow 76)$	0.0439

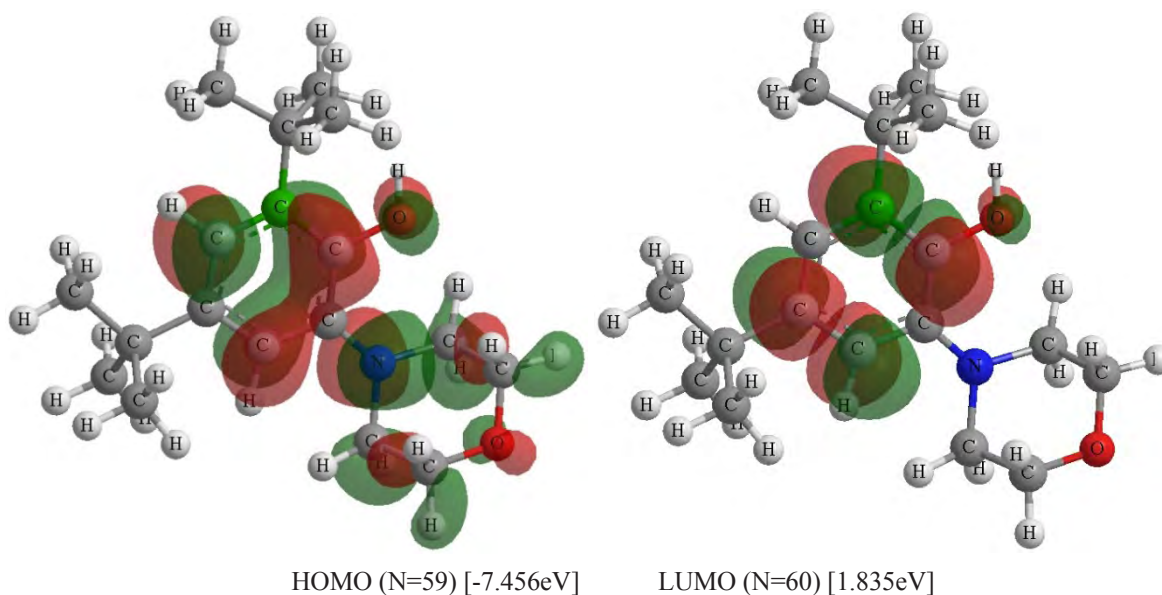


Figure 3 – Form of molecular orbitals involved in the formation of absorption spectrum of the molecule at $\lambda = 333.95$ nm by PM6 method

Conclusion. We chose the method of molecular mechanics (MM+) of the ChemOffice 2020 software package to calculate the initial geometry of the 2,4-di-tert-butyl-6-morpholinophenol. We also chose the PM6 method of the Gaussian 09W software to additionally optimized in the water solvent medium. The electronic spectrum of the 2,4-di-tert-butyl-6-morpholinophenol was calculated for 10 one-electron excitations in the range of 246.88-595.60 nm. The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of $\lambda = 333.95$ nm and $f = 0.2034$ which refers to the electron transition to the excited state $S_0 \rightarrow S_4$. The LUMO (N=60) energy is 1.835 eV and the HOMO (N=59) energy is -7.456 eV.

REFERENCES

[1]. Shahab, S., Sheikhi, M., Filippovich, L., Dikumar, E., Yahyaei, H., Kumar, R., & Khaleghian, M. (2018). Design of geometry, synthesis, spectroscopic (FT-IR, UV/Vis, excited state, polarization) and anisotropy (thermal conductivity

and electrical) properties of new synthesized derivatives of (E, E)-azomethines in colored stretched poly (vinyl alcohol) matrix. Journal of Molecular Structure, 1157, 536-550.

[2]. *Yahyaee, H., Shahab, S., Sheikhi, M., Filippovich, L., Almodarresiyeh, H. A., Kumar, R., Dikumar, E., Borzehandani, M. Y., & Alnajjar, R.* (2018). Anisotropy (optical, electrical and thermal conductivity) in thin polarizing films for UV/Vis regions of spectrum: Experimental and theoretical investigations. Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy, 192, 343–360.

**QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION
OF N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) BENZENE SULFONAMIDE
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
N-(3,5-ди-трет-бутил-2-гидроксифенил) БЕНЗОЛСУЛЬФОНАМИДА**

**Liu Yu^{1,2}, Siyamak Shahab^{1,2}, Sun Yuqi^{1,2}, A. Labanova^{1,2}
Лю Юй^{1,2}, Сиямак Шахаб^{1,2}, Сунь Юйци^{1,2}, Е. Лобанова^{1,2}**

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus
kbb@iseu.by, Liuyu_0315@outlook.com

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

This paper presents theoretical calculations related to N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) benzene sulfonamide compound to determine its equilibrium geometry, total energy and calculation of molecular orbitals involved in formation of UV/Vis spectrum.

В данной работе представлены теоретические расчеты N-(3,5-ди-трет-бутил-2-гидроксифенил) бензолсульфонамида с целью определения его равновесной геометрии, полной энергии и вида молекулярных орбиталей, участвующих в формировании спектра поглощения.

Keywords: Molecular orbital, PM3, UV/Vis spectrum.

Ключевые слова: Молекулярная орбиталь, PM3, УФ спектр.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-373-375>

Preliminary quantum-chemical modeling of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) benzene sulfonamide molecule. For calculation, we used a personal laptop with an Intel i7 processor (3.30 GHz CPU) with the Windows 10 operating system installed. We used ChemDraw 20.0 to build the 2D structure of the molecule shown in Figure 1. When calculating the initial geometry of a N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) benzene sulfonamide molecule, the method of molecular mechanics (MM⁺) of the ChemOffice 2020 software package was chosen. Calculation parameters depend on the specific task. The starting geometry of the molecule was additionally optimized in the solvent medium of H₂O (WATER) by the PM3 method of the Gaussian 09W software package until the global minimum of the total energy of the systems under study was reached. To find the global energy minimum and the most stable conformers, we analyzed all stationary points on the potential energy surface of molecules. The PM3 method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances [1].

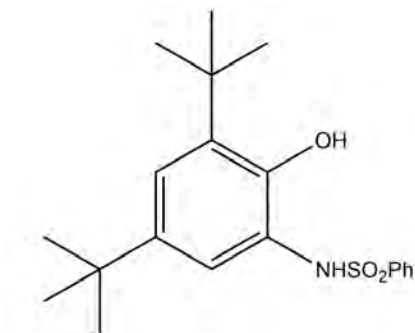


Figure 1 – 2D structure of the molecule

The GaussView 6.0 program was used to visualize the results. The equilibrium geometry of the molecule by the PM3 is shown in Figure 2.

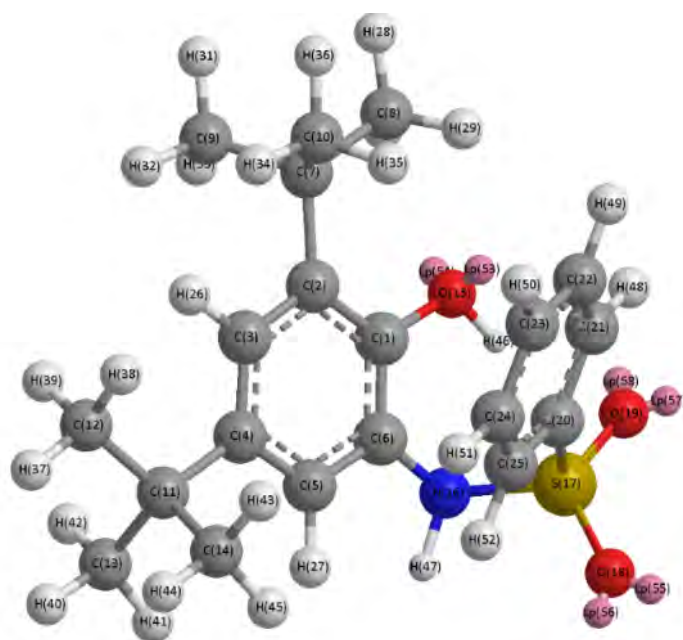


Figure 2 – Optimized molecule by PM3 method

Complete quantum-chemical simulation of the equilibrium geometry and electronic structure of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) benzene sulfonamide molecule. Full optimization and calculation of the electronic structure were carried out by the PM3 method. This method is used to calculate optimized geometries, electronic absorption spectra, values of total energy and heat of formation [2]. We also applied it to calculate the electronic absorption spectrum of a molecule of N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) benzene sulfonamide. The electronic spectrum of the molecule N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) benzene sulfonamide (A) is calculated for 10 single-electron excitations in the range of 966.76 - 309.89 nm. The results of the absorption spectrum calculation are given in table 1.

Table 1 – Calculated electron absorption spectrum of the molecule (A)

Excited State	Wavelength (nm)	Transition energy (eV)	Decomposition of wave functions by a single excited configuration	Oscillator Strength (f)
$S_0 \rightarrow S_1$	966.76	1.2825	-0.21(64->69)+0.18(67->69)-0.60(68->69)+0.13(68->74)	0.0034
$S_0 \rightarrow S_2$	388.03	3.1952	-0.11(62->69)-0.22(67->73)-0.61(68->72)-0.12(68->73)	0.2140
$S_0 \rightarrow S_3$	371.72	3.3354	-0.27(67->72)-0.14(68->72)+0.59(68->73)	0.0498
$S_0 \rightarrow S_4$	338.00	3.6681	-0.17(58->69)+0.21(59->69)-0.13(60->69)+0.23(61->69)-0.14(62->69)-0.10(63->69)+0.13(64->69)-0.32(67->69)-0.18(68->69)	0.0158
$S_0 \rightarrow S_5$	335.55	3.6950	-0.21(58->69)-0.21(60->69)+0.13(61->69)-0.15(62->69)-0.15(64->69)+0.38(67->69)+0.19(68->69)	0.0687
$S_0 \rightarrow S_6$	332.48	3.7291	-0.41(59->69)-0.14(59->70)-0.10(59->75)+0.11(59->79)-0.12(60->69)-0.11(61->69)-0.23(62->69)-0.10(67->69)	0.0432
$S_0 \rightarrow S_7$	331.14	3.7442	-0.29(65->71)-0.36(66->69)+0.50(66->70)-0.12(66->74)	0.0585
$S_0 \rightarrow S_8$	322.54	3.8440	+0.34(58->69)+0.12(58->70)+0.10(58->75)+0.11(58->76)+0.13(61->69)-0.16(62->69)-0.10(62->76)-0.28(63->69)-0.11(63->76)	0.0589
$S_0 \rightarrow S_9$	311.86	3.9756	-0.10(55->69)-0.14(58->69)+0.13(59->76)+0.23(60->69)-0.23(61->69)-0.23(62->69)-0.10(63->69)-0.24(65->69)+0.10(66->71)+0.18(67->73)	0.2001
$S_0 \rightarrow S_{10}$	309.89	4.0010	-0.12(43->69)-0.15(60->69)+0.13(61->69)-0.50(65->69)+0.17(65->70)-0.17(65->74)+0.18(66->71)	0.0782

The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 388.03$ nm and $f = 0.214$ (Table 1, Fig.3,4). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 388.03 nm, which refers to the transition of the electron to the excited state $S_0 \rightarrow S_2$. The remaining transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

The theoretical absorption spectrum of an optimized molecule in a solvent medium is calculated using the Gaussian 09W software package, using the PM3 method. The calculated electronic absorption spectrum of the title molecule in solvent medium water is shown in Figure 3.

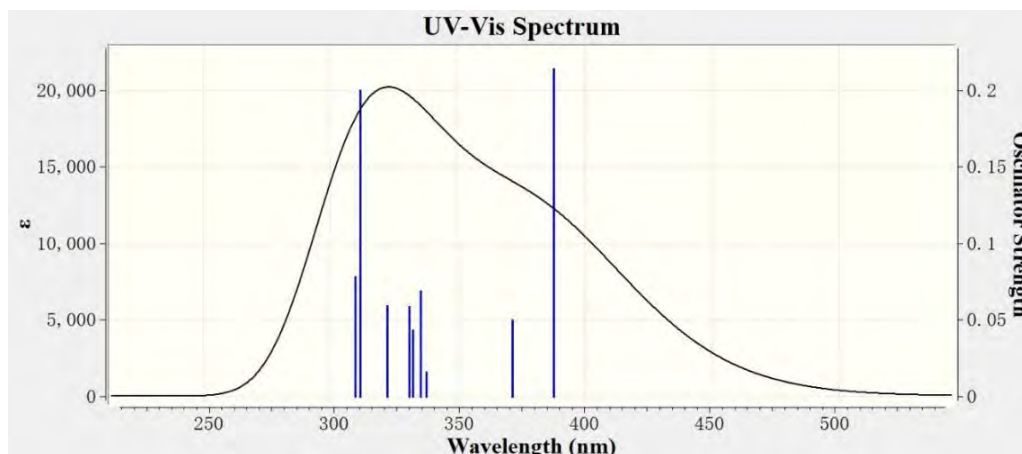


Figure 3 – UV-Vis spectrum of the compound in the solvent water

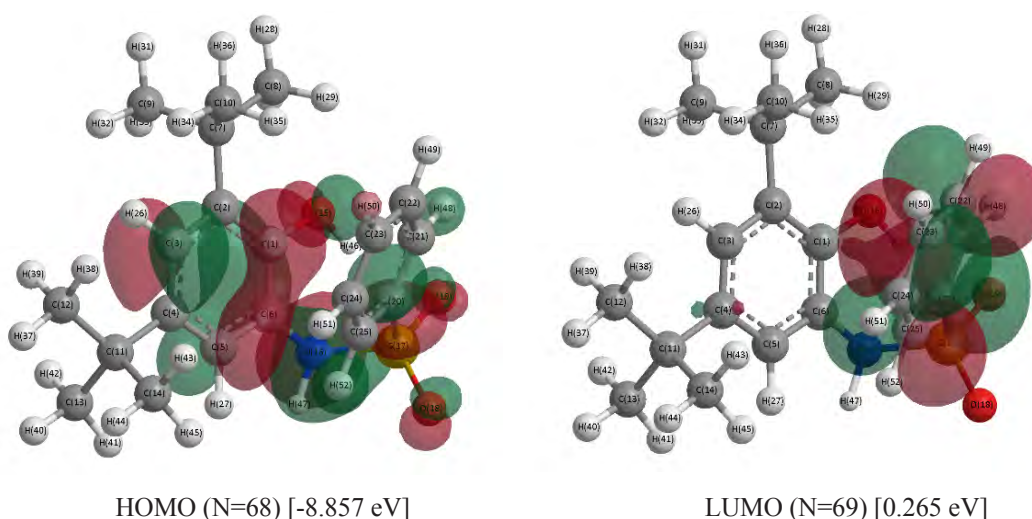


Figure 4 – Types of molecular orbitals involved in absorption spectrum formation of the molecule at $\lambda = 388.03$ nm

In this study, quantum-chemical calculations were carried out for N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) benzene sulfonamide compound with PM3 method in the water solvent medium. The strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 388.03 nm, which refers to the transition of the electron to the excited state $S_0 \rightarrow S_2$. Energy of HOMO (N=68) is -8.857 eV and the LUMO (N=69) is 0.265 eV.

REFERENCES

1. Issa, R. M., Hassanein, A. A., El-Mehasseb, I. M., & El-Wadoud, R. I. (2006). UV-vis, IR and ^1H NMR spectroscopic studies of some 6-chloro,2-pyridyl hydrazones. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, 65(1), 206–214.
2. Shahab, S., Sheikhi, M., Filippovich, L., Dikumar, E., Pazniak, A., Rouhani, M., & Kumar, R. (2019). Molecular Investigations of the Newly Synthesized Azomethines as Antioxidants: Theoretical and Experimental Studies. *Current molecular medicine*, 19(6), 419–433.

**QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION
OF THE N-(3,5-DI-TERT-BUTYL-2-HYDROXYPHENYL) METHANESULFONAMIDE
COMPOUNDS WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY**

**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ N-(3,5-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-2-ГИДРОКСИФЕНИЛ)
МЕТАНСУЛЬФОНАМИДА С АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

**Yuan Xue^{1,2}, Siyamak Shahab^{1,2}, Liu Zhenyu^{1,2}, L. Padabed^{1,2}
Юань Сюе^{1,2}, Сиямак Шахаб^{1,2}, Лю Чжэньюй^{1,2}, Л. Подобед^{1,2}**

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

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

kbb@iseu.by, yuanyue011897@gmail.com

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

*²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь*

This publication presents theoretical calculations applied to N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide compounds to determine their optimized state, predict its free energy, and determine the molecular orbitals involved in spectrum formation.

В работе представлены теоретические расчеты соединения N-(3,5-ди-трет-бутил-2-гидроксифенил)метансульфонамида с целью определения его равновесной геометрии, полной энергии и видов молекулярных орбиталей, участвующих в формировании спектра поглощения.

Keywords: PM6, Molecular orbital, HOMO.

Ключевые слова: PM6, молекулярная орбиталь, ВЗМО.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-376-378>

Preliminary quantum chemical modeling of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide molecule. For calculation, we used a personal computer with an Intel i5 processor (3.10 GHz CPU) with the Windows 10 operating system installed. When calculating the initial geometry of a molecule with a N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide base, the method of molecular mechanics (MM⁺) of the ChemOffice 2020 software package was chosen. Calculation parameters depending on the specific problem. The starting geometry of the molecule was additionally optimized in the solvent medium of Water by the semi-empirical PM6 method of the Gaussian 09W software package until the global minimum of the total energy of the systems under study was reached. To find the global energy minimum and the most stable conformers, we analyzed all stationary points on the potential energy surface of molecules. The PM6 method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances [2]. The GaussView 6.0 program was used to visualize the results. The equilibrium geometry of the molecule by the PM6 semi-empirical method is shown in Figure 1.



Figure 1 – Optimized structure of the title molecule by PM6 method

Complete Quantum Chemical Simulation of the Equilibrium Geometry and Electronic Structure of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide Molecule. Full optimization and calculation of the electronic structure were carried out by PM6 method [1,2]. This method is used to calculate optimized geometries, electronic absorption spectra, values of total energy and heat of formation, and we applied it to calculate the electronic absorption spectrum of molecules of new N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide. The UV/Vis spectrum of the molecule N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide is calculated for 10 single-electron excitations in the range of 493.62-228.60 nm. The results of the absorption spectrum calculation are given in the table.

The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 302.06$ nm and $f = 0.5154$ (Table, Fig. 2.3). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 302.06 nm, which refers to the transition of the electron to the excited singlet state $S_0 \rightarrow S_5$. The remaining transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

The theoretical absorption spectrum of an optimized molecule in a solvent medium is calculated using the Gaussian 09W software package, using the PM6 method. The calculated electronic absorption spectrum of a molecule in a solvent medium is shown in Figure 2.

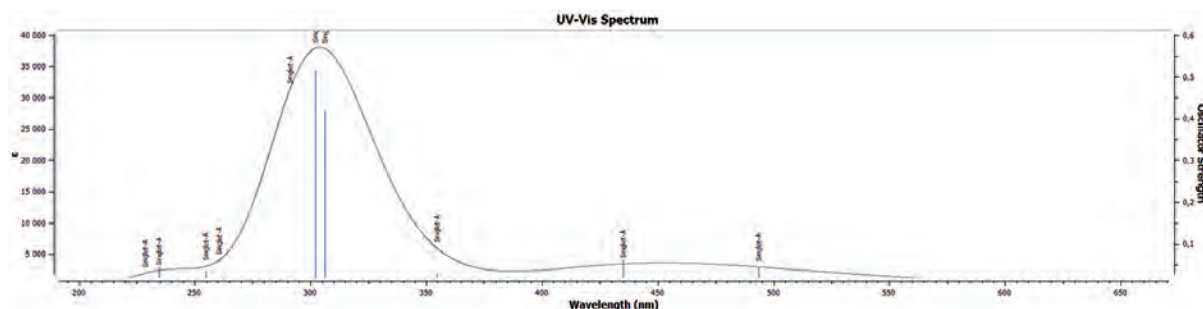


Figure 2 – Absorption spectrum of the title molecule

Table – Calculated electron absorption spectrum of the molecule

State	Wavelength (nm)	Transition energy (eV)	Decomposition of wave functions by a single excited configuration	Oscillator Strength (f)
$S_0 \rightarrow S_1$	493.62	2.5117	+0.10(55->62)+0.18(56->58)+0.26(56->59)+0.47(57->58) +0.29(57->59)+0.18(57->60)	0.0418
$S_0 \rightarrow S_2$	435.15	2.8493	-0.23(56->58)+0.11(56->59)+0.16(56->60)+0.34(57->58) +0.52(57->59)	0.0618
$S_0 \rightarrow S_3$	354.68	3.4957	+0.13(55->58)-0.11(55->60)-0.20(56->59) +0.25(57->58) -0.52(57->60)-0.10(57->61) +0.14(57->63)	0.0280
$S_0 \rightarrow S_4$	306.35	4.0472	+0.18(56->58)+0.53(56->59)-0.21(57->58) +0.15(57->59) -0.27(57->60)	0.4203
$S_0 \rightarrow S_5$	302.06	4.1046	+0.51(56->58) -0.20(56->59)+0.27(56->60)+0.31(57->59)	0.5154
$S_0 \rightarrow S_6$	291.15	4.2584	-0.16(56->61)+0.49(57->61)+0.29(57->63)-0.19(57->64)	0.0051
$S_0 \rightarrow S_7$	260.57	4.7581	-0.32(57->61)+0.11(57->63)-0.45(57->64) +0.18(57->69)+0.18(57->71)	0.0038
$S_0 \rightarrow S_8$	254.82	4.8656	+0.15(55->58)-0.19(55->59)+0.13(55->60) +0.5(57->62) -0.12(57->64)	0.0348
$S_0 \rightarrow S_9$	234.63	5.2842	+0.24 (55->58)+0.24 (55->59)+0.11 (56->58)-0.28 (56->60)+0.41 (56->62)	0.0442
$S_0 \rightarrow S_{10}$	228.60	5.4237	-0.10(51->60)+0.10(52->60)+0.10(55->58) +0.17(55->59)-0.18(56->58) +0.35(56->60)+0.12(56->61)+0.23(56->62)-0.16(56->63)-0.17(57->60)	0.0021

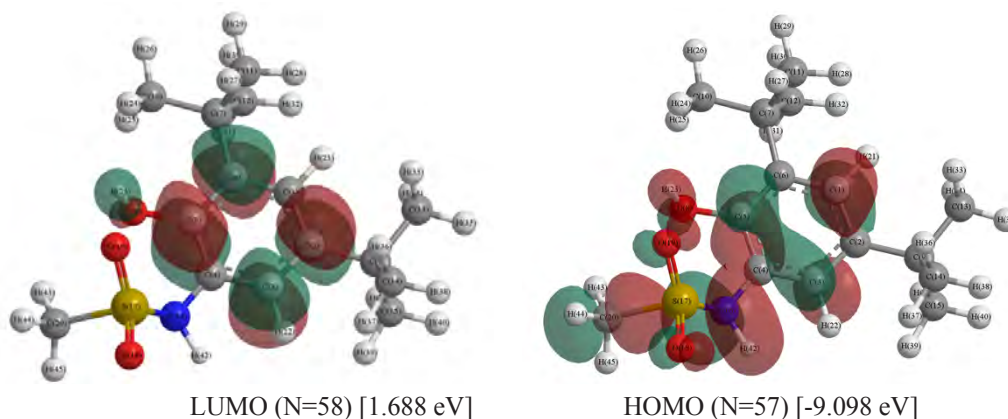


Figure 3 – Types of molecular orbitals involved in the formation of the absorption spectrum of the molecule (A) at $\lambda = 302.06$ nm

Conclusion. This publication presents theoretical calculations applied to N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide compound to determine its optimized state, predict free energy and determine the molecular orbitals involved in formation of UV/Vis spectrum. Quantum-chemical calculations were carried out for N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide compound with PM6 method in the water solvent. The geometrical optimized bond lengths and bond angles were calculated.

REFERENCES

1. Sheikhi, M., Koroleva, E., Shahab, S., Ignatovich, Z., Atroshko, M., Drachilovskaya, M. Filippovich, L., Pak, A. spectroscopic (IR, excited states, UV VIS, polarization) properties, synthesis and quantum chemical studies of new azomethine derivatives // journal "dyes and pigments".
2. Mikulsky D., Eder K. and Molsky M. (2014). Quantum chemical study of the relationship between the structure and antioxidant properties of hepatoprotective compounds found in *Cynara scolymus* and *Silybum marianum*. Journal of Theoretical and Computational Chemistry, 13(01), 1450004.

QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF 2,4-DI-TERT-BUTYL-6-(P-TOLYLAMINO) PHENOL КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ 2,4-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-6-(П-ТОЛИЛАМИНО)ФЕНОЛА

**Zhang Yan^{1,2}, Siyamak Shahab^{1,2}, Sun Peiming^{1,2}, A. Labanava^{1,2}
Чжан Янь^{1,2}, Сиямак Шахаб^{1,2}, Сунь Пеймин^{1,2}, Е. Лобанова^{1,2}**

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
kbb@iseu.by, 844462834@qq.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

This paper represents theoretical calculations applied to newly synthesized 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol compounds for defining their optimized state predicting its free energy and distinguishing molecular orbitals participating in spectrum formation.

В данной статье представлены теоретические расчеты нового соединения 2,4-ди-трет-бутил-6-(п-толиламино)фенола для определения его равновесной геометрии, полной энергии и вида молекулярных орбиталей, участвующих в формировании спектра поглощения.

Keywords: computer chemistry, UV/Vis spectrum.

Ключевые слова: компьютерная химия, УФ спектр.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-378-380>

Preliminary quantum chemical modeling of the 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol molecule. For calculations, we used a personal computer with an intel core i7 processor (2.21 GHz CPU) with the Ubuntu 18.04 operating system installed. For calculation of initial geometry of the 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol the method of molecular mechanics (MM+) of the Chem Office 2020 software package was chosen. The starting geometry of the molecule was additionally optimized in the solvent medium of Water by the semiempirical PM6 method of the Gaussian 16 software package until the global minimum of the total energy of the systems under study was reached. To find the global energy minimum and the most stable conformers, we analyzed all stationary points on the potential energy surface of molecules. The PM6 method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances [2]. The Gauss View 06 program was used to visualize the results. The equilibrium geometry of the molecule by the PM6 semiempirical method is shown in Figure 1

Complete Quantum Chemical Simulation of the Equilibrium Geometry and Electronic Structure of the 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol compounds Molecule. Full optimization and calculation of electronic structure of the 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol were carried out by PM6 method. This method is used to calculate the optimized geometries, electronic absorption spectra, total energy and heat of formation, and was used by

us to calculate the electronic absorption spectrum of new compounds molecules [1]. Electronic spectrum of the 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol is calculated for 10 excited states in the region 276.79-595.40nm. The results of calculation of the absorption spectrum are given in the table.

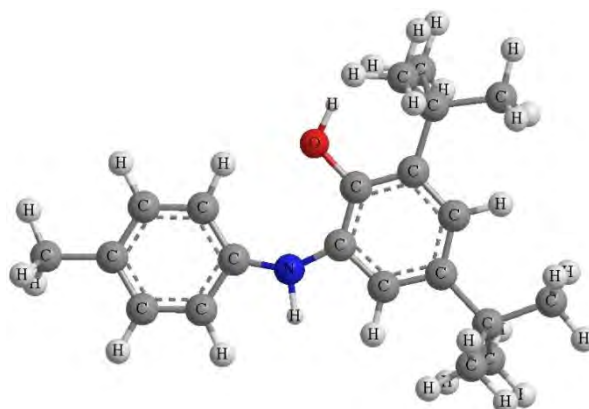


Figure 1 – Optimized molecule by PM6 method

The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 325.35$ nm and $f = 0.4911$ (Table, Fig. 2, 3). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 325.35 nm, which refers to the electron transition to the excited singlet state $S_0 \rightarrow S_6$. The remaining transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

The theoretical absorption spectrum of the optimized molecule in a solvent medium was calculated using the Gaussian 16 software package by PM6 method. The calculated electronic absorption spectrum of a molecule in a solvent medium is shown in Figure 2.

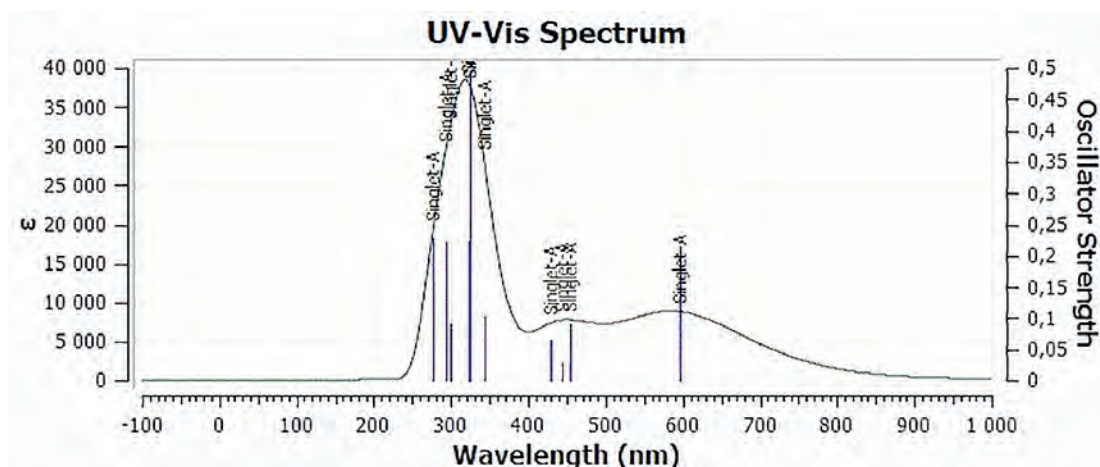


Figure 2 – Absorption spectrum of the title molecule

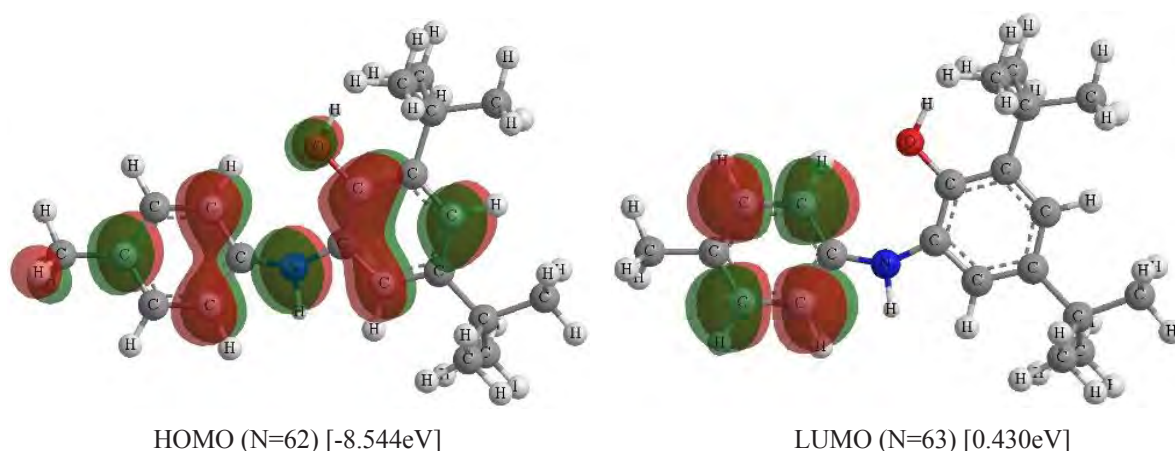


Figure 3 – Types of molecular orbitals involved in the formation of the absorption spectrum of the title molecule (A) at $\lambda = 325.35$ nm

Table – Calculated electronic absorption spectrum of the title molecule (A)

Excited State	Wavelength (nm)	Excitation Energy(Ev)	Configurations Composition(corresponding transition orbitals)	Oscillator Strength (f)
S ₀ →S ₁	595.40	2.0824	-0.11(60→64)-0.13(60→66)+0.19(61→66)+ 0.60(62→63)	0.2067
S ₀ →S ₂	455.17	2.7239	0.22(60→63)+0.15(61→63)+0.27(61→64)- 0.17(61→65)+0.11(61→66)+0.13(62→63)+0.36(62→64)-0.32(62→65)- 0.13(62→66)	0.0905
S ₀ →S ₃	443.41	2.7962	-0.15(59→64)-0.19(59→65)-0.14(60→63)- 0.10(60→64)+0.14(60→65)+0.12(60→66)+0.34(61→63)- 0.11(61→64)+0.22(62→64)+ 0.38(62→66)	0.0282
S ₀ →S ₄	429.10	2.8894	0.15(59→63)-0.17(59→66)-0.15(60→64)- 0.15(60→65)+0.16(61→64)+0.25(61→65)-0.31(62→64)- 0.42(62→65)+0.12(62→66)	0.0656
S ₀ →S ₅	342.66	3.6183	0.11(59→65)-0.19(60→64)+0.14(60→65)- 0.18(61→64)+0.12(61→65)+0.10(61→66)-0.14(62→63)+0.49(62→67)- 0.13(62→68)	0.1044
S ₀ →S ₆	325.35	3.8108	-0.14(59→64)-0.20(59→65)-0.26(60→63)+ 0.11(60→64)-0.11(60→66)-0.26(61→63)+ 0.15(61→64)-0.14(61→65)-0.19(61→66)+ 0.17(62→63)+0.13(62→64)+0.27(62→67)	0.4911
S ₀ →S ₇	322.72	3.8419	0.21(60→63)+0.22(60→64)-0.15(60→65)+ 0.11(60→66)+0.28(61→63)+0.12(61→64)- 0.20(62→64)+0.18(62→65)+0.22(62→67)-0.25(62→68)	0.2219
S ₀ →S ₈	298.56	4.1528	-0.22(59→64)-0.27(59→65)+0.11(61→63)+ 0.10(61→68)+0.13(61→69)-0.37(62→66)+ 0.17(62→68)+0.18(62→69)+0.14(62→71)	0.0897
S ₀ →S ₉	293.00	4.2316	0.15(59→64)+0.16(59→65)+0.12(60→64)+0.11(61→63)+0.12(61→67)+ +0.21(61→68)+0.17(61→69)+0.25(62→66)+0.15(62→67)+0.28(62→68)) +0.20(62→69)+0.10(62→70)	0.2230
S ₀ →S ₁₀	276.79	4.4793	-0.43(59→63)+0.43(59→66)-0.15(62→64)-0.21(62→65)	0.2285

Conclusion. Full optimization and calculation of electronic structure of the 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol were carried out by PM6 method. Electronic spectrum of the 2,4-di-tert-butyl-6-(p-tolylamino) phenol was calculated for 10 excited states in the region of 276.79-595.40 nm. The maximum wavelength 325.35 nm and high oscillator strength 0.4911 were calculated. The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 325.35 nm which refers to the electron transition to the excited state S₀→S₆. The HOMO (N=62) energy is -8.544 eV. The LUMO (N=63) energy is 0.430 eV.

REFERENCES

1. *Shahab, S.* Interaction between new synthesized derivative of (E,E)-azomethines and BN(6,6-7) nanotube for medical applications: Geometry optimization, molecular structure, spectroscopic (NMR, UV/Vis, excited state), FMO, MEP and HOMO-LUMO investigations / S. Shahab [at all] // Journal of Molecular Structure. – 2017. – Vol. 1. – No. 1146. – P. 881–888.
2. *Sheikhi, M., Shahab, S., Filippovich, L., Khaleghian, M., Dikuser, E., Mashayekhi, M.* Interaction between new synthesized derivative of (E,E)-azomethines and BN(6,6-7) nanotube for medical applications: Geometry optimization, molecular structure, spectroscopic (NMR, UV/Vis, excited state), FMO, MEP and HOMO-LUMO investigations // Journal of Molecular Structure. – 2017. – No. 1146. – P. 881–888.

**QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION
OF THE N-(2-hydroxy-3,5-DIISOPROPYLPHENYL)METHANESULFONAMIDE
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ N-(2-ГИДРОКСИ-3,5-ДИИЗОПРОПИЛФЕНИЛ)
МЕТАНСУЛЬФОНАМИДНА**

Li Xiao^{1,2}, Siyamak Shahab^{1,2}, A. Labanava^{1,2}

Ли Сяо^{1,2}, Сиямак Шахаб^{1,2}, Е. Лобанова^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kbb@iseu.by, libby0404@163.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

This paper presents theoretical calculations applied to N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl)methanesulfonamide to determine its optimal free energy state and the shape of the molecular orbitals involved in the formation of the UV/Vis spectrum.

В данной работе представлены теоретические расчеты, примененные к N-(2-гидрокси-3,5-диизопропилфенил)метансульфонамиду для определения его оптимального состояния свободной энергии и формы молекулярных орбиталей, участвующих в формировании УФ/Вис спектра.

Keywords: computer chemistry, DFT, UV spectrum.

Ключевые слова: компьютерная химия, ДФТ, УФ спектр.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-381-383>

Preliminary quantum-chemical modeling of N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl)methanesulfonamide.

A personal computer with an intel core i7 processor (CPU 2.21 GHz) and Ubuntu 18.04 operating system was used for the calculations. The initial geometry of the N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl)methanesulfonamide molecule was calculated using the molecular mechanics (MM+) method of Hyper Chem 17. The calculation parameters depend on the specific problem. In an aqueous solvent environment, the initial geometry of the molecules was optimized using the semiempirical PM6 method from the Gaussian 16 package until a global minimum of the total energy of the system under study was reached. All rest points of the molecular potential energy surface were analyzed to find the global energy minimum and the most stable conformer. The PM6 method was used to find the optimized geometric configuration, total energy of the molecule, electronic properties and enthalpy of formation of the substance [1]. The results were visualized using Gauss View 06 software. The molecular equilibrium geometries obtained by the semiempirical PM6 method are shown in Figure 1.

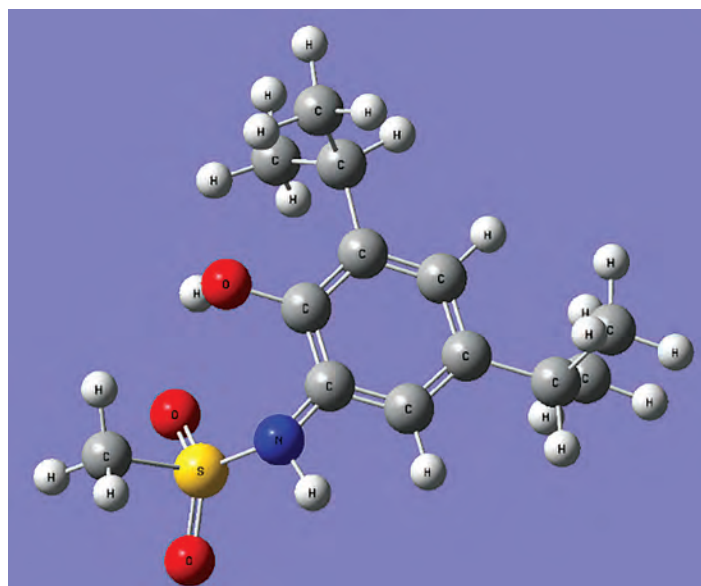


Figure 1 – Optimized molecule by PM6 method

Optimized structure of N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl)methanesulfonamide. We performed conformational analysis for compounds 8 using the PM6 method. All quantum chemistry calculations were performed using the Gaussian 09 software package and the GaussView 05 visualization program on a Pentium IV/4.02 GHz personal computer. IEFPCM (Integral Equation Formalism PCM) combined with UAKS rays is the method that was used to calculate solvent (DMF) effects. The Integral Equation Formalism PCM, developed by Kance, Mennucci, and Thomas, is the most popular version of the PCM. It uses a molecular-shaped cavity consisting of spheres centered on nuclei, and the reaction field is modeled by placing charges on the surface of the cavity. It has been observed that the calculated parameters show a good approximation and can be used as a basis for calculating other parameters for the title compounds.

Electronic Structure and Excited States of N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl)methanesulfonamide. The electronic spectrum of the N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl) methanesulfonamide molecule was calculated for 10 one-electron excitations in the 228.72-493.83 nm region. The results of the calculation of the absorption spectrum are shown in the table. The maximum wavelength with high oscillatory strength was observed at $\lambda = 303.26$ nm and $f = 0.5239$ (Table, Figs. 2, 3). The calculation showed that the strongest electronic transition is observed at the absorption maximum of 303.26 nm, which refers to the electronic transition to the excited singlet state $S_4 \rightarrow S_5$. Other transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry. The theoretical absorption spectrum of the optimized molecule in a solvent medium was calculated with the Gaussian 16 software package using the PM6 method. The average scaling factor of the program in calculating the UV spectra is 0.99. The calculated electronic absorption spectrum of the molecule in the solvent medium is shown in Figure 2.

Table 1

Estates	Wavelength (nm)	Excitation Energy(V)	Configurations Composition (corresponding transition orbitals)	Oscillator Strength(f)
S_0-S_1	493.83	2.5106	0.10884 (49->56)+0.19563(50->52)+0.25934(50->53)+ 0.47609(51->52)-0.30544(51->53)+0.18846(51->54)	0.0435
S_1-S_2	436.83	2.8383	-0.24160(50->52)+0.10935(50->53)-0.15681(50->54)+ 0.36790(51->52)-0.50905(51->53)	0.0659
S_2-S_3	352.78	3.5145	0.13734 (49->52)-0.11943(49->54)-0.20403(50->53)+ 0.24289(51->52)-0.53382(51->54)-0.11080(51->55)+0.14128(51->57)	0.0270
S_3-S_4	306.58	4.0442	0.28835 (50->52)+0.48804(50->53)-0.19296(51->52)+ 0.20867(51->53)-0.25232(51->54)	0.4025
S_4-S_5	303.26	4.0884	0.46773 (50->52)-0.30538(50->53)+0.26716(50->54)+ 0.28726(51->53)+0.11871(51->54)	0.5239
S_5-S_6	291.86	4.2481	0.16403(50->55)-0.49108(51->55)-0.30900(51->57)+ 0.20771(51->58)-0.12180(51->63)-0.10916(51->68)	0.0065
S_6-S_7	261.01	4.7502	-0.32446 (51->55)-0.12490(51->56)+0.10030(51->57)- 0.46225(51->58)+0.23391(51->63)-0.10634(51->66)	0.0045
S_7-S_8	255.42	4.8542	-0.15393 (49->52)+0.18889(49->53)-0.14583(49->54)- 0.57641(51->56)+0.14828(51->58)	0.0297
S_8-S_9	234.67	5.2833	0.27084 (49->52)+0.22823(49->53)+0.11139 (50->52)- 0.29890(50->54)+0.41239(50->56)+0.10088(51->54)	0.0410
S_9-S_{10}	228.72	5.4207	0.10682 (45->54)-0.10003(49->52)-0.18460(49->53)- 0.11412(49->54)+0.16277(50->52)-0.34018(50->54)-0.26637 (50->56)+0.15388(50->57)+0.13677(51->54)- 0.12155(51->64)-0.12507(51->66)	0.0036

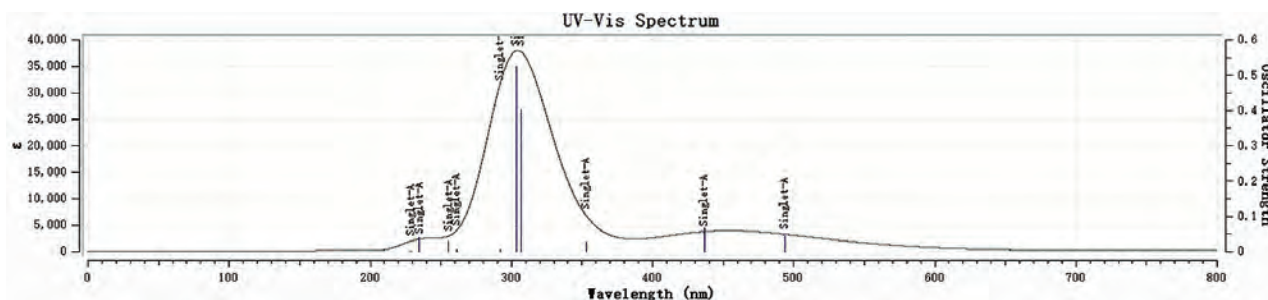
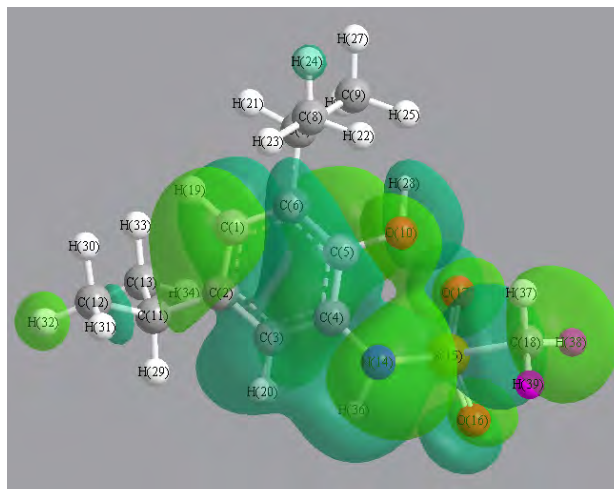


Figure 2 – Absorption spectrum of a molecule



LUMO (N=55) [23.810eV]

Conclusion. We used a personal computer with an intel core i7 processor (CPU 2.21 GHz) with the Ubuntu 18.04 operating system installed. The molecule initial geometry with the base compound N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl) methanesulfonamide was computed using the molecular mechanics (MM+) method of the Hyper Chem 08 software package. A maximum high oscillatory wavelength was observed at $\lambda = 303.26$ nm and $f = 0.5239$ (Table Figs. 2,3). The calculation showed that the strongest electronic transition is observed at the absorption maximum of 303.26 nm, which refers to the electronic transition to the excited singlet state $S_0 \rightarrow S_1$. Other transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

1. *Sheikhi, M., Shahab, S., Filippovich, L., Khaleghian, M., Dikusar, E., Mashayekhi, M.* Interaction between new synthesized derivative of (E,E)-azomethines and BN(6,6-7) nanotube for medical applications: Geometry optimization, molecular structure, spectroscopic (NMR, UV/Vis, excited state), FMO, MEP and HOMO-LUMO investigations // *Journal of Molecular Structure.* – 2017. – No. 1146. – P. 881–888.

Sun Peiming^{1,2}, Siyamak Shahab^{1,2}, Zhang Yan^{1,2}, A. Labanava^{1,2}
Сунь Лэймин^{1,2}, Сиямак Шахаб^{1,2}, Чжан Янь^{1,2}, Е. Лобанова^{1,2}

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kbb@iseu.by, 854420081@qq.com

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

В данной статье представлены теоретические расчеты соединения N-(3,5-ди-трет-бутил-2-гидроксифенил)-4-метилбензолсульфонамида для определения его равновесного состояния, полной энергии и визуализации молекулярных орбиталей, участвующих в спектре поглощения.

Keywords: computer chemistry, PM6, UV/Vis spectrum.

Ключевые слова: компьютерная химия, PM6, УФ спектр.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-383-385>

Preliminary quantum chemical modeling of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-4-methylbenzenesulfonamide. For calculations, we used a personal computer with an intel core i7 processor (2.21 GHz CPU) with the Ubuntu 18.04 operating system installed. When calculating the initial geometry of a molecule with N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-4-methylbenzenesulfonamide base, the method of molecular mechanics (MM+) of the HyperChem 08 software package was chosen. calculation parameters depending on the specific problem. The starting geometry of the molecule was additionally optimized in the solvent medium of water by the semiempirical PM6 method of the Gaussian 16 software package until the global minimum of the total energy of the systems under study was reached. To find the global energy minimum and the most stable conformers, we analyzed all stationary points on the potential energy surface of molecules. The PM6 method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances [2]. The Gauss View 06 program was used to visualize the results. The equilibrium geometry of the molecule by the PM6 semiempirical method is shown in Figure 1.

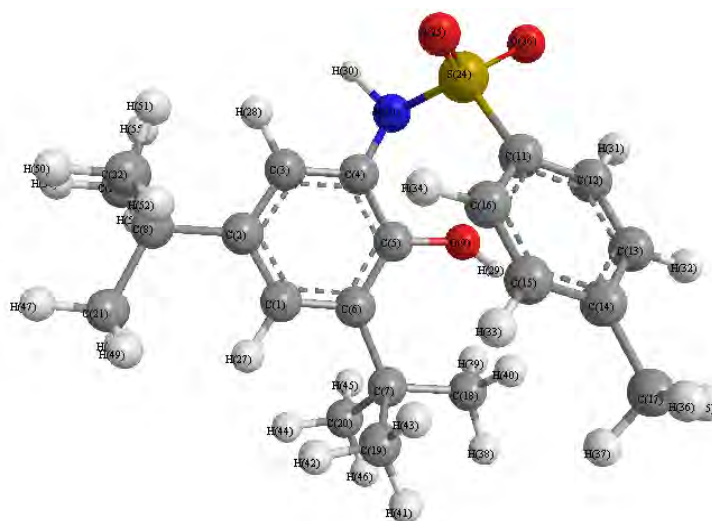


Figure 1 – Optimized molecule by PM6 method

Quantum Chemical Simulation of the Equilibrium Geometry and Electronic Structure of N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-4-methylbenzenesulfonamide Molecule. Full optimization and calculation of the electronic structure were carried out by the PM6 method. This method is used to calculate the optimized geometries, electronic absorption spectra, total energy and heat of formation, and was used by us to calculate the electronic absorption spectrum of the molecules. Electronic spectrum of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-4-methylbenzenesulfonamide molecule is calculated for 10 one-electron excitations in the region 275.99-501.97nm. The results of calculation of the absorption spectrum are given in the table.

The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 275.99$ nm and $f = 0.5795$ (Table, Fig. 2, 3). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 275.99 nm, which refers to the electron transition to the excited singlet state $S_0 \rightarrow S_{10}$. The remaining transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

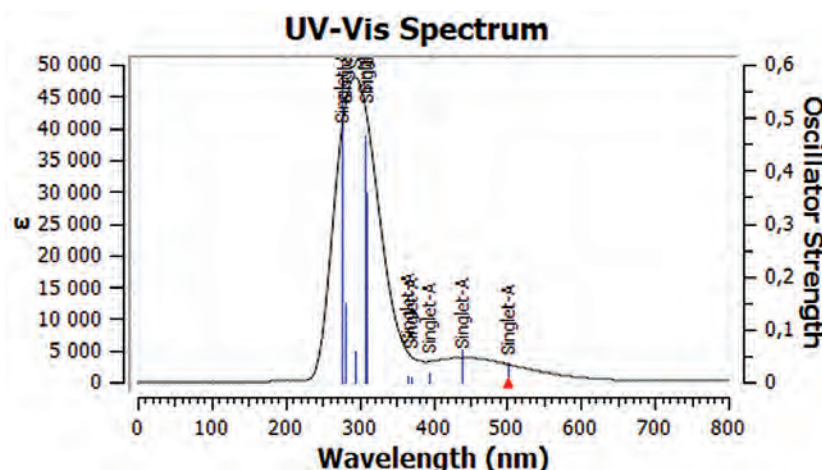


Figure 2 – Absorption spectrum of the title molecule

Table – Calculated electronic absorption spectrum of the molecule (A)

Excited State	Wavelength(nm)	Excitation Energy(eV)	Configurations Composition (corresponding transition orbitals)	Oscillator Strength(f)
S ₀ -S ₁	501.97	2.4699	-0.14(70→73) -0.28024(0→75) +0.48(71→73) -0.22(71→75) +0.26(71→76)	0.0373
S ₀ -S ₂	438.50	2.8274	+0.22(70→73)+0.19(70→76)+0.27(71→73) +0.57(71→75)	0.0609
S ₀ -S ₃	394.57	3.1423	+0.12(68→72)+0.40(68→74) -0.50(69→72) +0.11(69→74)	0.0198
S ₀ -S ₄	370.50	3.3464	+0.12(67→73) +0.16(70→75) -0.17(71→72) +0.27(71→73) -0.50(71→76) -0.14(71→80)	0.0090
S ₀ -S ₅	365.48	3.3923	+0.55(68→72)+0.15(69→72)+0.39(69→74)	0.0128
S ₀ -S ₆	309.61	4.0045	+0.56 (70→75)+0.20(71→73)+0.27 (71→76)	0.3578
S ₀ -S ₇	307.15	4.0366	-0.49(70→73)-0.30(70→76)+0.30(71→75) -0.14(71→78)	0.4671
S ₀ -S ₈	293.35	4.2265	+0.11(70→73)+0.13(70→76)-0.13(70→78) -0.45(71→78)-0.19(71→79)-0.25(71→80) +0.11(71→81) -0.21(71→82)	0.0577
S ₀ -S ₉	279.78	4.4314	-0.26(68→74)-0.15(69→72)+0.58(71→72) +0.16(71→73)	0.1490
S ₀ -S ₁₀	275.99	4.4924	-0.43(68→74)-0.40(69→72)-0.28(71→72)	0.5795

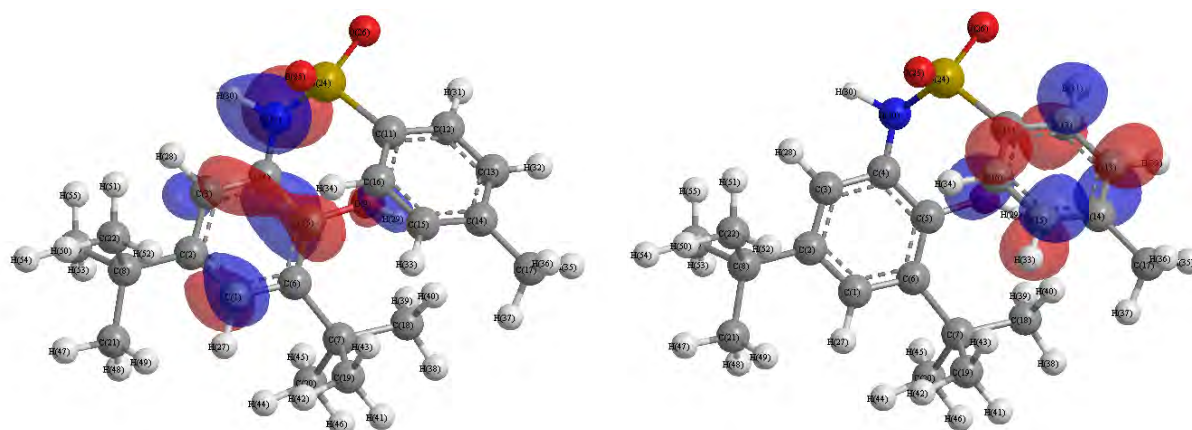


Figure 3 – Types of molecular orbitals involved in the formation of the absorption spectrum of the title molecule (A) at $\lambda = 275.99$ nm

The theoretical absorption spectrum of the optimized molecule in a solvent medium was calculated using the Gaussian 16 software package by PM6. The calculated electronic absorption spectrum of a molecule in a solvent medium is shown in Figure 2 [1, 2].

Full optimization and calculation of the electronic structure of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-4-methylbenzenesulfonamide were carried out by the PM6 method. The calculated electronic absorption spectrum (UV/VIS) of the compound in solvent water was observed. Electronic spectrum of the N-(3,5-di-tert-butyl-2-hydroxyphenyl)-4-methylbenzenesulfonamide molecule was calculated for 10 one-electron excitations in the region 275.99-501.97 nm. The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 275.99$ nm and $f = 0.5795$. The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 275.99 nm which refers to the electron transition to the excited singlet state S₀→S₁₀. The HOMO (N=71) energy is -9.584 eV and the LUMO (N=72) energy is 0.363 eV.

REFERENCES

1. Sheikhi, M., Koroleva, E., Shahab, S., Ihnatovich, Z., Atroshko, M., Drachilovskaya, M. Filipovich, L., Pnak, A. Spectroscopic (FT- IR, excited states, UV /Vis, polarization) properties, synthesis and quantum chemical studies of new azomethine derivatives // Journal “Dyes and pigments”.
2. Mikulski, D., Eder, K., & Molski, M. (2014). Quantum-chemical study on relationship between structure and antioxidant properties of hepatoprotective compounds occurring in Cynara scolymus and Silybum marianum. Journal of Theoretical and Computational Chemistry, 13(01), 1450004.

QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF N-(5-(TERT-BUTY1)-2-HYDROXYPHENYL)METHANESULFONAMIDE WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ N-(5-(ТЕРТ-БУТИ1)-2-ГИДРОКСИФЕНИЛ)МЕТАНСУЛЬФОНАМИДА С АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Liu Zhenyu, Siyamak Shahab, Yuan Xue, A. Labanova
Лю Чжэньюй, Сиямак Шахаб, Юань Сюе, Е. Лобанова

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
e-mail: 1109736703@qq.com

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
Минск, Республика Беларусь

This paper represents theoretical calculations related to newly synthesized methanesulfonamide compounds for defining their optimized state, predicting its free energy, and distinguishing molecular orbitals participating in spectrum formation.

В этой статье представлены теоретические расчеты нового соединения метансульфонамида с целью определения его равновесной геометрии, свободной энергии и видов молекулярных орбиталей, участвующих в формировании спектра поглощения.

Keywords: computer chemistry, DFT, UV/Vis spectrum.

Ключевые слова: компьютерная химия, ДФТ, УФ спектр.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-386-388>

Preliminary quantum chemical modeling of the N-(5-(tert-buty1)-2-hydroxyphenyl) methane sulfonamide molecule. For calculations, a personal computer with an intel core i7 processor (2.21 GHz CPU) with the Ubuntu 18.04 operating system installed was used. When calculating the starting geometry of a molecule with an azomethine base, the method of molecular mechanics (MM*) of the HyperChem 08 software package was chosen. The choice of the MM* method is justified by the fact that it was developed for organic molecules, takes into account the potential fields formed by all atoms of the calculated system, and allows flexible modification of the parameters calculation depending on the specific task. The starting geometry of the molecule was additionally optimized in the solvent medium of water (H₂O) by the semi-empirical PM6 method of the Gaussian 16 software package until the global minimum of the total energy of the studied systems was reached. To find the global energy minimum and the most stable conformers, we analyzed all stationary points on the potential energy surface of molecules. The PM6 method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances [2]. To visualize the results, the Gauss View 06 program was used. The equilibrium geometry of the molecule by the semi-empirical method PM6 is shown in Figure 1.

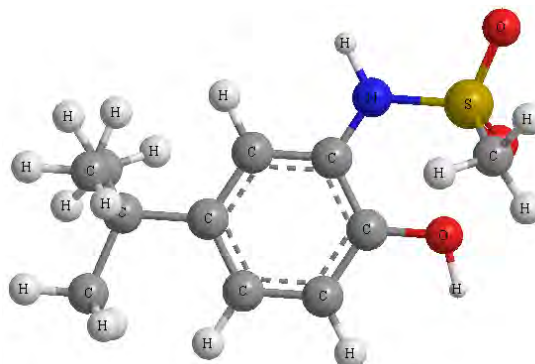


Figure 1 – Optimized molecule for PM6 method

Complete quantum chemical modeling of the equilibrium geometry and electronic structure of the azomethine molecule. Full optimization and calculation of the electronic structure were carried out by the PM6 method. This method is used to calculate optimized geometries, electronic absorption spectra, values of the total energy and heat of formation, and we have applied it to calculate the electronic absorption spectrum of new azomethine molecules. The electronic spectrum of the molecule the N-(5-(tert-buty1)-2-hydroxyphenyl)methanesulfonamide (A) was calculated for 20 one-electron excitations in the region of 228.46-499.99 nm. The results of calculation of the absorption spectrum are given in the table.

The maximum wavelength with high oscillator strength was observed at 298.78 nm and $f = 0.5411$ (Table, Fig. 2.3). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 298.78 nm, which refers to the electron transition to the excited singlet state S₀-S₅. The remaining transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

The theoretical absorption spectrum of the optimized molecule in the solvent medium was calculated using the Gaussian 16 software package using the PM6 methods. The average scaling factor of the program when calculating UV spectrum is 0.99. The calculated electronic absorption spectrum of a molecule in a solvent medium is shown in Figure 2 [1,2].

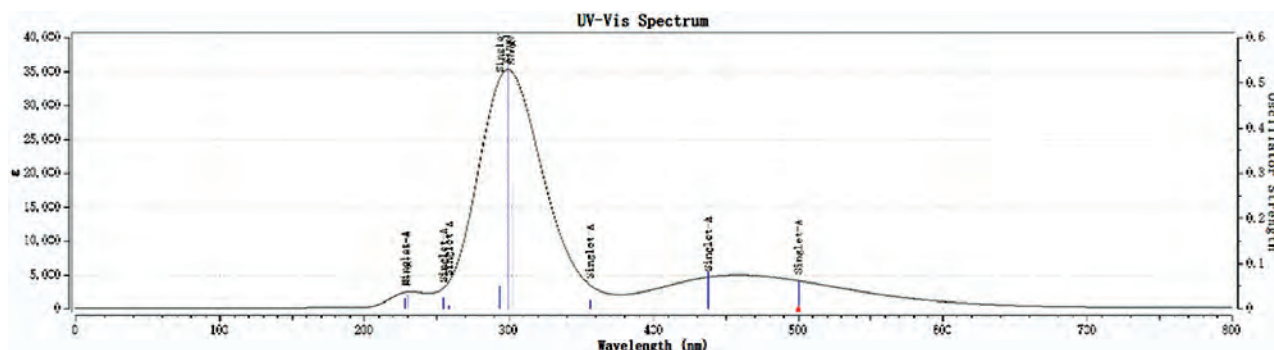


Figure 2 – Absorption spectrum of the title molecule

Table – Calculated electronic spectrum of the molecule (A)

State	Wavelength, nm	Energy transition, eV	Decomposition of wave functions by singly excited configuration	Power oscillator(f)
S ₀ →S ₁	499.99	2.4797	-0.15(44->46)-0.25(44->47)-0.52(45->46)0.25(45->47) -0.18(45->48)	0.0615
S ₀ →S ₂	437.69	2.8327	0.23(44->46)0.15(44->48)-0.30(45->46)-0.56(45->47)	0.0828
S ₀ →S ₃	356.22	3.4806	-0.12(43->46)0.18(44->47)-0.22 (45->46)0.54(45->48) 0.10(45->49)-0.15(45->51)	0.0191
S ₀ →S ₄	301.77	4.1085	-0.41(44->46)-0.36(44->47)-0.10(44->48)0.14(45->46) -0.25(45->47)0.17(45->48)-0.14(45->49)-0.10 (45->51)	0.2794
S ₀ →S ₅	298.78	4.1497	0.35(44->46)-0.44(44->47)0.23(44->48)0.14(45->46) 0.17(45->47)0.18 (45->48)	0.5411
S ₀ →S ₆	293.70	4.2215	-0.15(44->46)-0.11(44->48)-0.13(44->49)-0.10(45->47) 0.48(45->49) 0.12(45->50)0.25(45->51)-0.22(45->53)	0.0500
S ₀ →S ₇	258.58	4.7947	-0.27(45->49)-0.15(45->50)0.11(45->51)0.19(45->52) -0.49(45->53)0.10(45->54)0.14(45->56)	0.0072
S ₀ →S ₈	254.52	4.8712	-0.15(43->46)0.15(43->47)-0.13(43->48)-0.10(44->47) 0.14(45->49)-0.57(45->50)0.10(45->53)	0.0236
S ₀ →S ₉	229.66	5.3986	0.23(43->46)0.22(43->47)0.11(44->46)-0.30(44->48) -0.11(44->49)0.38(44->50)	0.0324
S ₀ →S ₁₀	228.46	5.4270	0.10(43->48)-0.15(44->49)0.11(45->48)-0.15(45->49) 0.33(45->51)0.20(45->52)0.22(45->53)-0.18(45->54) 0.27(45->57)	0.0217

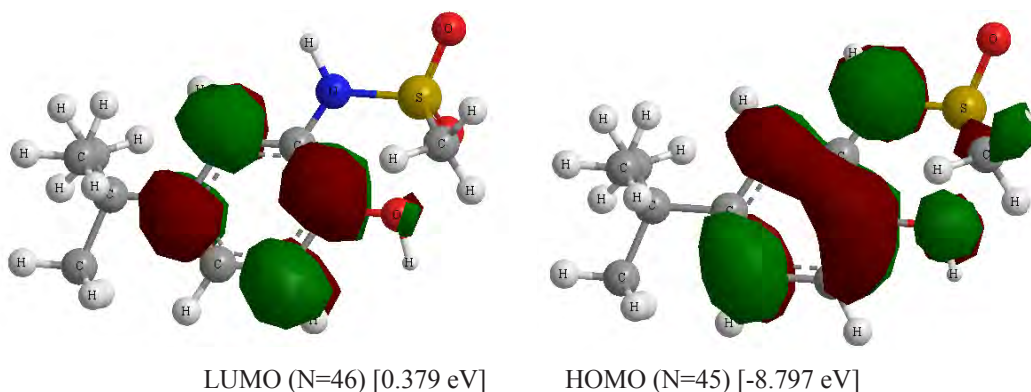


Figure 3 – Types of molecular orbitals involved in the formation of the absorption spectrum of the molecule (A) at 298.78 nm

Conclusion. Using the PM6 method to measure this the molecule the N-(5-(tert-butyl)-2-hydroxyphenyl) methanesulfonamide in the solvent medium of water (H₂O), and the maximum wavelength with high oscillator strength was observed at 298.78 nm and f=0.5411. Results of molecular orbitals are LUMO (N=46) [0.379eV] and HOMO (N=45) [-8.797eV].

REFERENCES

1. *Sheikhi, M., Koroleva, E., Shahab, S., Ihnatovich, Z., Atroshko, M., Drachilovskaya, M. Filipovich, L., Pnak, A.* Spectroscopic (FT-IR, excited states, UV/Vis, polarization) properties, synthesis and quantum chemical studies of new azomethine derivatives // Journal «Dyes and pigments».
2. *Mikulski, D., Eder, K., & Molski, M.* (2014). Quantum-chemical study on relationship between structure and antioxidant properties of hepatoprotective compounds occurring in *Cynara scolymus* and *Silybum marianum*. Journal of Theoretical and Computational Chemistry, 13(01), 1450004.

ПРОГРАММА ЕЖЕДНЕВНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ГАРАНТИИ КАЧЕСТВА НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ

PROGRAM OF THE DAILY QUALITY ASSURANCE PROCEDURE ON THE ELECTRON LINEAR ACCELERATOR

Г. В. Бельков¹, А. И. Бринкевич²
G. Belkov¹, A. Brynkevich²

¹Минский городской клинический онкологический центр
г. Минск, Республика Беларусь

²Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии
им. Н.Н. Александрова, а-г Лесной, Республика Беларусь

¹Minsk city clinical oncological centre,
Minsk, Republic of Belarus

²N. N. Alexandrov national cancer centre of Belarus, Lesnoy, Republic of Belarus
g.belkov@inbox.ru

Осуществление мероприятий по контролю качества работы медицинских линейных ускорителей – один из элементов радиационной защиты пациентов, подвергающихся медицинскому терапевтическому облучению, который в то же время является важнейшим из составляющих программы гарантии качества лучевой терапии. Контроль качества линейных ускорителей позволяет полностью выдержать заданные параметры плана облучения каждого пациента и избежать его переоблучения или недооблучения, а также тяжелых радиационных аварий.

The implementation of quality control measures for the operation of medical linear accelerators is one of the elements of radiation protection of patients undergoing medical therapeutic radiation, which at the same time is the most important component of the radiotherapy quality assurance program. The quality control of linear accelerators makes it possible to fully comply with the specified parameters of the exposure plan for each patient and avoid overexposure or underexposure, as well as severe radiation accidents.

Ключевые слова: лучевая терапия, гарантия качества, линейный ускоритель электронов, доза, онкология, медицинская физика.

Keywords: radiation therapy, quality assurance, linear electron accelerator, dose, oncology, medical physics.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-388-391>

Наиболее важным аспектом контроля качества линейных ускорителей электронов является проведение ежедневной процедуры гарантии качества, которая проводится утром инженерами или медицинскими физиками, перед тем, как отдать аппарат в лечебную практику.

Все проверки, которые входят в программу проверки ежедневного контроля качества линейных ускорителей, можно разделить на четыре процедуры:

1. Дозиметрические,
2. механические,
3. безопасность,
4. изображение.

Прежде чем инженер или медицинский физик приступит к процедуре гарантии качества (ежедневной), он обязан прогреть аппарат отпустив 500 мониторинговых единиц на всех энергиях, которые введены в клинический режим на линейном ускорителе.

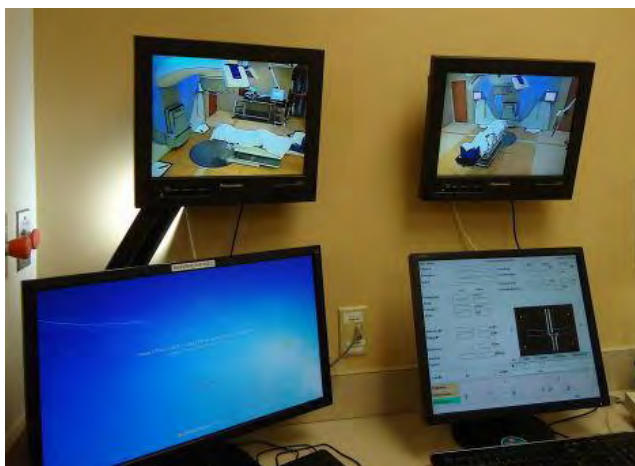


Рисунок 1 – Прогрев ЛУЭ

На рисунке 1 показан пример прогрева ЛУЭ [1]. Далее, медицинский персонал может приступать к механической проверке аппарата. Стоит отметить, что каждый онкологический центр в мире работает по протоколам, которые регламентируют те или иные допустимые значения для каждой проверки гарантии качества. В нашем случае были разработаны собственные протоколы на базе TG 142. Одна из важнейших проверок – точность лазеров, которые используются для позиционирования пациента при проведении сеанса лучевой терапии.

На рисунке 2 показана работа лазеров, которыми пользуется медицинский персонал для укладки пациентов и проведения им сеансов лучевой терапии. Аналогично с этой проверкой, к механическим проверкам входит: проверка светового поля, проверка раскрытия коллиматора.



Рисунок 2 – Лазеры для позиционирования пациента

При проведении дозиметрических проверок может быть использовано вспомогательное оборудование, такое как PTW QUICKCHECK. Устройство, в корпусе которого находятся 13 вентилируемых ионизационных камер, при помощи которых получается высочайшая точность снятых параметров.

QUICKCHECK получает такие данные как [3], симметрия поля, флатность, качество пучка и значение дозы на центральной оси камеры. Данная процедура также проводится на каждой лечебной энергии аппарата.

Под безопасностью подразумеваются все системы защиты пациента при проведении сеанса лучевой терапии. В комплекс мер входит: проверка работы видео камер в каньоне, проверка аудио, проверка работы блокировки двери, блокировка пучка, световая сигнализация в каньоне и процедурном кабинете, проверка дозиметров и их световой индикации, а также система Touchgard (система предотвращения столкновения линейного ускорителя электронов с телом пациента) на головке линейного ускорителя, на панели детекторов для получения изображений и на рентгеновской трубке. Стоит отметить, что при любой неисправности связанной с безопасностью, персонал работающий в клинике должен сам устранить неисправность, а в случае не возможности устранения проблемы самостоятельно, обратиться в сервисную службу.

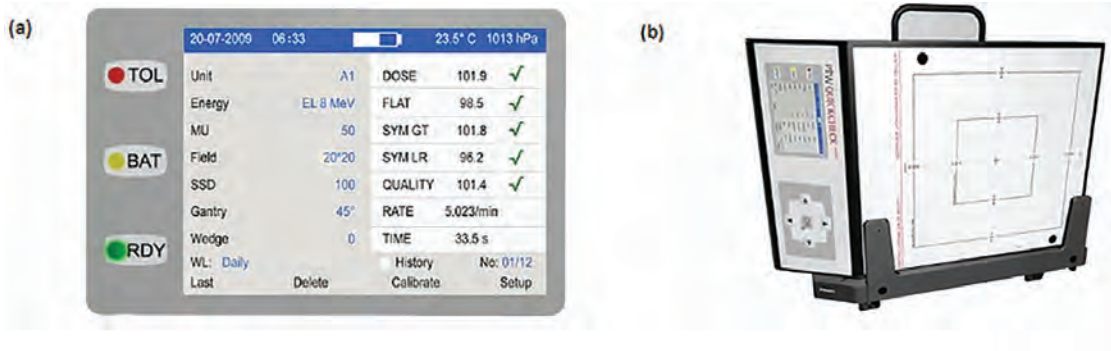


Рисунок 3 – (а) Дисплей с корпуса PTW QUICKCHECK с основными критериями;
(б) QUICKCHECK на зарядной платформе



Рисунок 4 – пример системы дозиметрического контроля в процедурном кабинете

Так же проверяется вся система линейного ускорителя электронов, отвечающая за получение качественного рентгеновского изображения. Важными составляющими в этой системе является рентгеновская трубка и панель детекторов на которой регистрируется изображение. Перед началом работы с системой, медицинский физик запускает прогрев рентгеновской трубки, а только после полного прогрева запускает саму процедуру. Для этого на лечебный стол устанавливается фантом PentaGuide и откатывается полный оборот ЛУЭ вокруг своей оси для получения изображения.

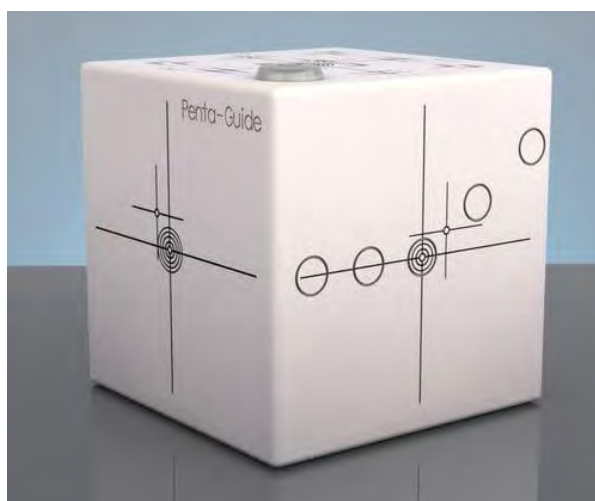


Рисунок 5 – Фантом PentaGuide

После проведения всех процедур[2], медицинский персонал, который занимался включением и проверкой аппаратов, заполняет бумажную документацию и отдает аппарат в лечебную практику, беря на себя ответственность за то, что лечение на данном аппарате будет соответствовать всем требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарутин, И. Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 175 с.
2. Черняев А.П. Медицинское оборудование в современной лучевой терапии: учебное пособие / А.П. Черняев, Е.Н. Лыкова, А.И. Поподько. – Москва: Изд-во физического факультета МГУ, 2019. – 101 с.
3. Medical electrical equipment – Medical electron accelerators - Functional performance characteristics IEC 60976:2007. – 16.10.07. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2007. – 199 p.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДНЫХ ХАЛКОНОВ QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF CHALCON DERIVATIVES

**М. А. Атрошко^{1,2}, С. Н. Шахаб^{1,2,3,4}, В. А. Тарасевич⁴,
Д. С. Мартинкевич⁴, Н. В. Богданова^{1,2}, Ван Хуэй²
M. A. Atroshko^{1,2}, S. Shahab^{1,2,3,4}, V. A. Tarasevich⁴,
D. A. Martsinkevich⁴, N. V. Bogdanova^{1,2}, W. Hui²**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, Минск, Республика Беларусь

kbb@iseu.by, atroshkomikhail@gmail.com, siyamakshahab@mail.ru

³Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

⁴Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

atroshkomikhail@gmail.com, siyamakshahab@mail.ru, tar@ichnm.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

³Institute of Physical Organic Chemistry National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

⁴Institute of Chemistry of New Materials National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

В работе приведены данные полуэмпирических и теоретических расчетов молекул в среде растворителя, их спектр поглощения и оптимизированная структура с значением полной энергии системы.

The paper presents the data of semi-empirical and theoretical calculations of molecules in the medium of the solvent, their absorption spectrum and the optimized structure with the value of the total energy of the system.

Ключевые слова: PM6, TD-DFT, спектр.

Keywords: PM6, TD-DFT, spectrum.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-391-393>

Предварительное квантово-химическое моделирование молекулы. Для расчетов использован персональный компьютер с процессором intel core i7 (2.21 GHz CPU) с установленной операционной системой Ubuntu 18.04. При вычислениях стартовой геометрии молекулы 3-(2-бромфенил)-5-(4-бромфенил)-1Н-пиразол выбран метод молекулярной механики (ММ⁺) программного пакета HyperChem 08. Выбор метода ММ⁺ обоснован тем, что он разработан для органических молекул, учитывает потенциальные поля, формируемые всеми атомами рассчитываемой системы, и позволяет гибко модифицировать параметры расчета в зависимости от конкретной задачи. Стартовую геометрию молекулы дополнительно оптимизировали в среде растворителя полуэмпирическим методом PM6 программного пакета Gaussian 16 до достижения глобального минимума полной энергии изучаемых систем. Для нахождения глобального энергетического минимума и наиболее устойчивых конформеров анализировали все стационарные точки на поверхности потенциальной энергии молекул. Методом PM6 находят оптимизированные геометрические конфигурации, общую энергию молекул, электронные свойства и энтальпию

образования веществ [2]. Для визуализации результатов использована программа Gauss View 06. Равновесная геометрия молекулы полуэмпирическим методом PM6 приведена на рисунке 1.

$$E = -5830.452361 \text{ Hartree}$$



Рисунок 1 – Оптимизированная молекула 3-(2-бромфенил)-5-(4-бромфенил)-1H-пиразол методом PM6

Полное квантово-химическое моделирование равновесной геометрии и электронной структуры молекулы. Полная оптимизация и расчет электронной структуры проводились неэмпирическим методом TD-DFT/RB3LYP в базисе 6-31++G. Данный метод используется для расчета геометрий, электронных абсорбционных спектров, значений полной энергии и теплоты образования и применен нами для расчета электронного спектра поглощения молекул. Электронный спектр молекулы рассчитан для 20 одноэлектронных возбуждений в области 294.86 нм. Результаты расчета абсорбционного спектра даны в таблице 1.

Таблица 1 – Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы

Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_1$	294.86	4.2049	92 $\rightarrow$ 93 0.64093 92 $\rightarrow$ 94 0.27005	1.1758
$S_0 \rightarrow S_2$	281.51	4.4042	91 $\rightarrow$ 93 0.57048 91 $\rightarrow$ 94 -0.12092 92 $\rightarrow$ 94 0.35435	0.1780
$S_0 \rightarrow S_3$	272.95	4.5423	88 $\rightarrow$ 93 -0.12149 91 $\rightarrow$ 93 -0.35116 91 $\rightarrow$ 94 0.12258 92 $\rightarrow$ 93 -0.24377 92 $\rightarrow$ 94 0.47794 92 $\rightarrow$ 95 -0.20270	0.2952
$S_0 \rightarrow S_4$	265.93	4.6622	88 $\rightarrow$ 93 0.16286 90 $\rightarrow$ 93 -0.12171 90 $\rightarrow$ 94 0.23917 91 $\rightarrow$ 94 0.45168 91 $\rightarrow$ 96 0.19737 92 $\rightarrow$ 95 0.30064 92 $\rightarrow$ 96 0.15997	0.0746
$S_0 \rightarrow S_5$	263.19	4.7107	88 $\rightarrow$ 93 0.19435 90 $\rightarrow$ 94 -0.33668 91 $\rightarrow$ 95 -0.14098 91 $\rightarrow$ 96 -0.20762 92 $\rightarrow$ 94 0.16730 92 $\rightarrow$ 95 0.39937 92 $\rightarrow$ 96 -0.26549	0.0664
$S_0 \rightarrow S_6$	258.61	4.7943	88 $\rightarrow$ 93 -0.10403 90 $\rightarrow$ 93 0.10748 90 $\rightarrow$ 94 -0.23756 91 $\rightarrow$ 93 0.19392 91 $\rightarrow$ 94 0.49543 92 $\rightarrow$ 94 -0.14723 92 $\rightarrow$ 95 -0.24883 92 $\rightarrow$ 96 -0.18005	0.0652

Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_7$	249.78	4.9638	90 $\rightarrow$ 93 0.67497 90 $\rightarrow$ 94 0.12765 92 $\rightarrow$ 96 0.11056	0.0385
$S_0 \rightarrow S_{10}$	241.74	5.1288	90 $\rightarrow$ 94 -0.25631 91 $\rightarrow$ 95 -0.18961 91 $\rightarrow$ 96 -0.25964 92 $\rightarrow$ 96 0.56347	0.0636
$S_0 \rightarrow S_{12}$	238.89	5.1901	88 $\rightarrow$ 93 -0.14010 91 $\rightarrow$ 95 0.59685 92 $\rightarrow$ 95 0.26139 92 $\rightarrow$ 96 0.15912	0.0409
$S_0 \rightarrow S_{13}$	231.38	5.3584	90 $\rightarrow$ 94 -0.39680 91 $\rightarrow$ 96 0.55685	0.4324
$S_0 \rightarrow S_{16}$	225.99	5.4862	87 $\rightarrow$ 95 0.12282 88 $\rightarrow$ 93 0.58937 91 $\rightarrow$ 95 0.23873 92 $\rightarrow$ 95 -0.23891	0.2306
$S_0 \rightarrow S_{19}$	220.37	5.6263	87 $\rightarrow$ 93 0.67774 88 $\rightarrow$ 95 -0.10012	0.0445

Первая интенсивная полоса поглощения с максимумом при 294.86 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ($S_0 \rightarrow S_1$). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению двух функций: (92 $\rightarrow$ 93), (92 $\rightarrow$ 94). Возбуждение электрона с 92 молекулярной орбитали (МО) на нижнюю вакантную молекулярную орбиталь 93 дает главный вклад в полосу поглощения при 294.86 нм (табл. 1, рис. 2).

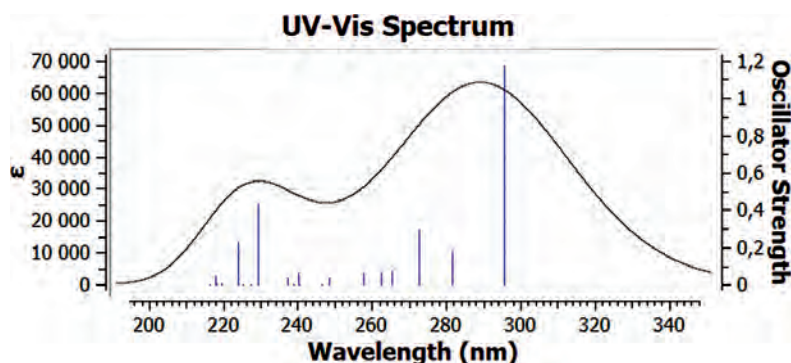


Рисунок 2 – Спектр поглощения молекулы

Вторая широкая и интенсивная полоса поглощения с максимумом при 272.95 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ($S_0 \rightarrow S_3$). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению шести функций. Возбуждение электрона с 92 МО на 94 МО дает главный вклад в полосу поглощения при 272.95 нм (табл. 1, рис. 2). Остальные переходы имеют маленькое значение f и запрещены по симметрии.

Теоретический спектр поглощения оптимизированной молекулы в среде растворителя рассчитан с помощью программного пакета Gaussian 16, используя уровень теории TD-DFT/RB3LYP/6-31++G. Усредненный масштабирующий коэффициент программы при расчете УФ спектров равен 0.99. Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы в среде растворителя представлен на рисунке 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Siyamak Shahab, Masoome Sheikh, Liudmila Filippovich, Evgenij Dikumar, Radwan A. Alnajjar, Mikhail Atroshko and Marina Drachilovskaya, "Antitumor and Antioxidant Activities of the New Synthesized Azomethine Derivatives: Experimental and Theoretical Investigations", Letters in Organic Chemistry (2020) 17:1.

2. Атрошко М.А., Шахаб С.Н. Квантово-химический расчет и синтез новых азометиновых соединений, обладающих антиоксидантной активностью / Атрошко М.А., Шахаб С.Н. // Сахаровские чтения 2019 года: Экологические проблемы XXI века, Минск, 23–24 мая 2019 г. – С. 62–65.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДНЫХ БИОГЕННЫХ КИСЛОТ QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF BIOGENIC ACID DERIVATIVES

**М. А. Атрошко^{1,2}, С. Н. Шахаб^{1,2,3,4}, Е. Г. Каранкевич³,
Н. В. Богданова^{1,2}, З. И. Куваева³, Ян Шу²**

**M. A. Atroshko^{1,2}, S. Shahab^{1,2,3,4}, H. G. Karankevich³,
N. V. Bogdanova^{1,2}, Z. I. Kuvaeva³, Y. Shu²**

¹Белорусский государственный университет, БГУ, Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, Минск, Республика Беларусь

kbb@iseu.by, atroshkomikhail@gmail.com, siyamakshahab@mail.ru

³Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

⁴Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь
atroshkomikhail@gmail.com, siyamakshahab@mail.ru, extract@ifoch.bas-net.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

³Institute of Physical Organic Chemistry National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

⁴Institute of Chemistry of New Materials National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

В работе приведены данные полуэмпирических и теоретических расчетов молекул в среде растворителя, их спектр поглощения и оптимизированная структура с значением полной энергии системы.

The paper presents the data of semi-empirical and theoretical calculations of molecules in the medium of the solvent, their absorption spectrum and the optimized structure with the value of the total energy of the system.

Ключевые слова: PM6, TD-DFT, спектр.

Keywords: PM6, TD-DFT, spectrum.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-394-396>

Предварительное квантово-химическое моделирование молекулы. Для расчетов использован персональный компьютер с процессором intel core i7 (2.21 GHz CPU) с установленной операционной системой Ubuntu 18.04. При вычислениях стартовой геометрии молекулы аминокислоты метанимина выбран метод молекулярной механики (ММ⁺) программного пакета HyperChem 08. Выбор метода ММ⁺ обоснован тем, что он разработан для органических молекул, учитывает потенциальные поля, формируемые всеми атомами рассчитываемой системы, и позволяет гибко модифицировать параметры расчета в зависимости от конкретной задачи. Стартовую геометрию молекулы дополнительно оптимизировали в среде растворителя полуэмпирическим методом PM6 программного пакета Gaussian 16 до достижения глобального минимума полной энергии изучаемых систем. Для нахождения глобального энергетического минимума и наиболее устойчивых конформеров анализировали все стационарные точки на поверхности потенциальной энергии молекул. Методом PM6 находят оптимизированные геометрические конфигурации, общую энергию молекул, электронные свойства и энтальпию образования веществ [2]. Для визуализации результатов использована программа Gauss View 06. Равновесная геометрия молекулы полуэмпирическим методом PM6 приведена на рисунке 1.

E = -1670.034261 Hartree



Рисунок 1 – Оптимизированная молекула аминокислоты метанимина методом PM6

Полное квантово-химическое моделирование равновесной геометрии и электронной структуры молекулы. Полная оптимизация и расчет электронной структуры проводились неэмпирическим методом TD-DFT/RB3LYP в базисе 6-31++G. Данный метод используется для расчета геометрий, электронных абсорбционных спектров, значений полной энергии и теплоты образования и применен нами для расчета электронного спектра поглощения молекул. Электронный спектр молекулы рассчитан для 20 одноэлектронных возбуждений в области 226.46 нм. Результаты расчета абсорбционного спектра даны в таблице 1.

Таблица 1 – Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы

Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_3$	217.83	5.6918	125 ->126 -0.23480 125 ->127 0.41843 125 ->128 -0.27661 125 ->130 -0.13390 125 ->131 -0.21702 125 ->134 -0.24118	0.0325
$S_0 \rightarrow S_7$	211.13	5.8724	123 ->133 0.20734 123 ->142 0.20095 124 ->128 -0.12929 124 ->131 -0.10829 124 ->133 0.39529 124 ->142 0.30227 125 ->133 0.16731 125 ->142 0.11651	0.0385
$S_0 \rightarrow S_{10}$	207.43	5.9772	124 ->126 -0.30691 124 ->128 0.49696 124 ->134 0.15679 125 ->129 0.16077 125 ->134 0.16340	0.0275
$S_0 \rightarrow S_{13}$	204.61	6.0594	123 ->126 0.11632 123 ->127 -0.20114 124 ->126 -0.12221 124 ->127 0.12694 124 ->129 0.36898 124 ->130 0.18503 124 ->131 -0.10419 124 ->134 0.10351 125 ->128 0.19441 125 ->129 -0.16732 125 ->130 -0.11049 125 ->133 0.10030 125 ->134 -0.22637	0.0172
$S_0 \rightarrow S_{15}$	203.22	6.1009	119 ->127 -0.10144 123 ->126 -0.17918 123 ->127 0.26716 123 ->129 -0.10126 124 ->128 -0.16891 124 ->129 0.26138 124 ->130 0.14174 125 ->128 -0.16716 125 ->131 0.16790 125 ->133 0.19706 125 ->134 0.13283	0.0119
$S_0 \rightarrow S_{16}$	202.61	6.1194	123 ->126 0.15154 123 ->127 -0.23162 124 ->129 -0.12322 124 ->131 0.17580 125 ->131 0.38683 125 ->133 0.11475 125 ->135 0.16939 125 ->136 0.10626 125 ->142 -0.11392 125 ->143 -0.15137 125 ->145 0.13913 125 ->149 0.10531	0.0107

Первая интенсивная полоса поглощения с максимумом при 217.83 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ($S_0 \rightarrow S_3$). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению шести функций. Возбуждение электрона с 125 молекулярной

орбитали (МО) на нижнюю вакантную молекулярную орбиталь 127 дает главный вклад в полосу поглощения при 294.86 нм (табл. 1, рис. 2).

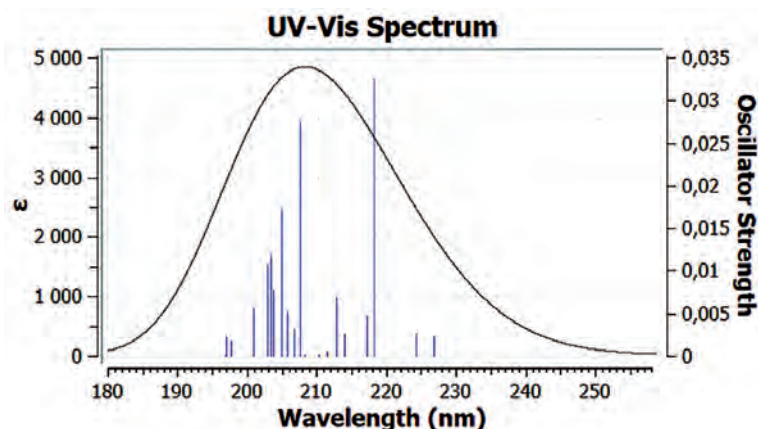


Рисунок 2 – Спектр поглощения молекулы

Вторая широкая и интенсивная полоса поглощения с максимумом при 207.43 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ($S_0 \rightarrow S_{10}$). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению пяти функций. Возбуждение электрона с 124 МО на 128 МО дает главный вклад в полосу поглощения при 207.43 нм (табл. 1, рис. 2). Остальные переходы имеют маленькое значение f и запрещены по симметрии.

Теоретический спектр поглощения оптимизированной молекулы в среде растворителя рассчитан с помощью программного пакета Gaussian 16, используя уровень теории TD-DFT/RB3LYP/6-31++G. Усредненный масштабирующий коэффициент программы при расчете УФ спектров равен 0.99. Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы в среде растворителя представлен на рисунке 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Siyamak Shahab, Masoome Sheikhi, Liudmila Filippovich, Evgenij Dikumar, Radwan A. Alnajjar, Mikhail Atroshko and Marina Drachilovskaya, "Antitumor and Antioxidant Activities of the New Synthesized Azomethine Derivatives: Experimental and Theoretical Investigations", Letters in Organic Chemistry (2020) 17:1.
2. Атрошко М.А., Шахаб С.Н. Квантово-химический расчет и синтез новых азометиновых соединений, обладающих антиоксидантной активностью / Атрошко М.А., Шахаб С.Н. // Сахаровские чтения 2019 года: Экологические проблемы XXI века, Минск, 23–24 мая 2019 г. – С. 62–65.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПИРИМИДИНОВЫХ ОСНОВАНИЙ QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF PYRIMIDINE BASES

М. А. Атрошко^{1,2}, С. Н. Шахаб^{1,2,3,4},

Ж. В. Игнатович³, Н. В. Богданова^{1,2}, Ян Шу², Ван Хуэй²

M. A. Atroshko^{1,2}, S. Shahab^{1,2,3,4}, J. V. Ignatovich³, N. V. Bogdanova^{1,2}, Y. Shu², W. Hui²

¹Белорусский государственный университет, БГУ, Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, Минск, Республика Беларусь

kbb@iseu.by, atroshkomikhail@gmail.com, siyamakshahab@mail.ru

³Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

⁴Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

atroshkomikhail@gmail.com, siyamakshahab@mail.ru, ignatovich@ichnm.basnet.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

³Institute of Physical Organic Chemistry National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

⁴Institute of Chemistry of New Materials National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

В работе приведены данные полуэмпирических и теоретических расчетов молекул в среде растворителя, их спектр поглощения и оптимизированная структура с значением полной энергии системы.

The paper presents the data of semi-empirical and theoretical calculations of molecules in the medium of the solvent, their absorption spectrum and the optimized structure with the value of the total energy of the system.

Ключевые слова: PM6, TD-DFT, спектр.

Keywords: PM6, TD-DFT, spectrum.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-396-399>

Предварительное квантово-химическое моделирование молекулы. Для расчетов использован персональный компьютер с процессором intel core i7 (2.21 GHz CPU) с установленной операционной системой Ubuntu 18.04. При вычислениях стартовой геометрии молекулы N-(4-метил-3-((4-(пиридин-3-ил)пиримидин-2-ил)амино)фенил)циннамид выбран метод молекулярной механики (MM⁺) программного пакета HyperChem 08. Выбор метода MM⁺ обоснован тем, что он разработан для органических молекул, учитывает потенциальные поля, формируемые всеми атомами рассчитываемой системы, и позволяет гибко модифицировать параметры расчета в зависимости от конкретной задачи. Стартовую геометрию молекулы дополнительно оптимизировали в среде растворителя полуэмпирическим методом PM6 программного пакета Gaussian 16 до достижения глобального минимума полной энергии изучаемых систем. Для нахождения глобального энергетического минимума и наиболее устойчивых конформеров анализировали все стационарные точки на поверхности потенциальной энергии молекул. Методом PM6 находят оптимизированные геометрические конфигурации, общую энергию молекул, электронные свойства и энтальпию образования веществ [2]. Для визуализации результатов использована программа Gauss View 06. Равновесная геометрия молекулы полуэмпирическим методом PM6 приведена на рисунке 1.

E = -1314.249051 Hartree

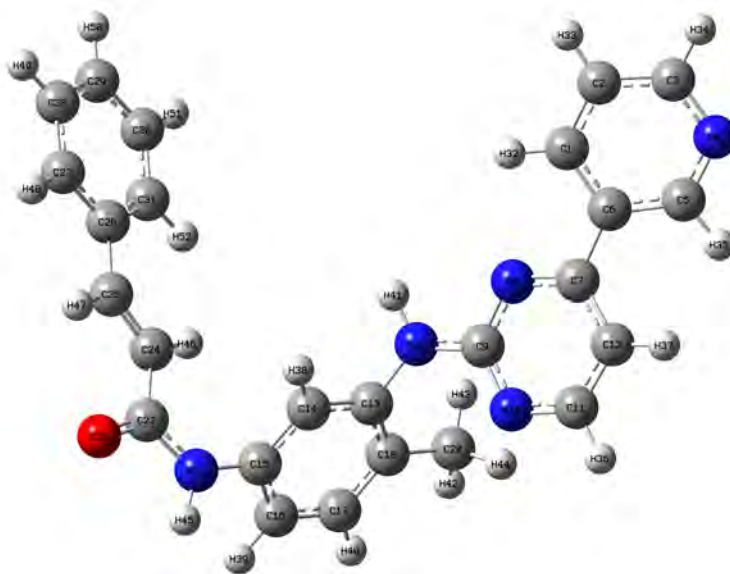


Рисунок 1 – Оптимизированная молекула N-(4-метил-3-((4-(пиридин-3-ил)пиримидин-2-ил)амино)фенил)циннамид методом PM6

Полное квантово-химическое моделирование равновесной геометрии и электронной структуры молекулы. Полная оптимизация и расчет электронной структуры проводились неэмпирическим методом TD-DFT/RB3LYP в базисе 6-31++G. Данный метод используется для расчета геометрий, электронных абсорбционных спектров, значений полной энергии и теплоты образования и применен нами для расчета электронного спектра поглощения молекул. Электронный спектр молекулы рассчитан для 20 одноэлектронных возбуждений в области 294.86 нм. Результаты расчета абсорбционного спектра даны в таблице 1.

Первая интенсивная полоса поглощения с максимумом при 278.42 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ($S_0 \rightarrow S_{10}$). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению пяти функций. Возбуждение электрона с 107 молекулярной орбитали (МО) на нижнюю вакантную молекулярную орбиталь 110 дает главный вклад в полосу поглощения при 278.42 нм (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1 – Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы

Состояние	Длина волны, нм	Энергия перехода, эВ	Разложение волновых функций по однократно возбужденной конфигурации	Сила осциллятора (f)
$S_0 \rightarrow S_1$	348.00	3.5628	106 $\rightarrow$ 108 0.17118 107 $\rightarrow$ 108 0.68201	0.3123
$S_0 \rightarrow S_2$	340.12	3.6453	106 $\rightarrow$ 109 -0.17258 107 $\rightarrow$ 109 0.67615	0.0845
$S_0 \rightarrow S_3$	323.19	3.8362	106 $\rightarrow$ 108 0.67684 107 $\rightarrow$ 108 -0.17349	0.4245
$S_0 \rightarrow S_4$	307.44	4.0328	102 $\rightarrow$ 109 -0.11418 104 $\rightarrow$ 109 -0.12640 105 $\rightarrow$ 109 0.21321 106 $\rightarrow$ 109 0.62216 107 $\rightarrow$ 109 0.17496	0.0663
$S_0 \rightarrow S_5$	302.54	4.0981	105 $\rightarrow$ 108 0.69502	0.3603
$S_0 \rightarrow S_6$	301.45	4.1130	102 $\rightarrow$ 109 0.51665 104 $\rightarrow$ 109 0.40242 106 $\rightarrow$ 109 0.17891	0.0087
$S_0 \rightarrow S_7$	289.63	4.2808	99 $\rightarrow$ 108 0.11208 100 $\rightarrow$ 108 0.29182 101 $\rightarrow$ 108 0.60994	0.0401
$S_0 \rightarrow S_8$	284.65	4.3557	102 $\rightarrow$ 109 0.13107 105 $\rightarrow$ 109 0.65187 106 $\rightarrow$ 109 -0.21456	0.1211
$S_0 \rightarrow S_9$	281.15	4.4099	103 $\rightarrow$ 108 0.65530 105 $\rightarrow$ 113 -0.12326 106 $\rightarrow$ 113 0.14577	0.0286
$S_0 \rightarrow S_{10}$	278.42	4.4531	105 $\rightarrow$ 109 -0.11067 106 $\rightarrow$ 110 -0.10001 107 $\rightarrow$ 110 0.50039 107 $\rightarrow$ 111 0.41218 107 $\rightarrow$ 114 -0.10899	0.4716
$S_0 \rightarrow S_{11}$	273.58	4.5319	99 $\rightarrow$ 109 -0.35379 100 $\rightarrow$ 109 0.54552 101 $\rightarrow$ 109 -0.20034	0.0116
$S_0 \rightarrow S_{12}$	269.92	4.5934	102 $\rightarrow$ 109 -0.14237 104 $\rightarrow$ 108 0.51563 104 $\rightarrow$ 109 0.13940 106 $\rightarrow$ 110 0.14359 107 $\rightarrow$ 110 -0.23820 107 $\rightarrow$ 111 0.21332	0.0875
$S_0 \rightarrow S_{13}$	268.44	4.6187	99 $\rightarrow$ 109 0.10973 102 $\rightarrow$ 109 -0.34300 104 $\rightarrow$ 109 0.44252 107 $\rightarrow$ 110 0.30716 107 $\rightarrow$ 111 -0.21809	0.4092
$S_0 \rightarrow S_{14}$	266.51	4.6521	102 $\rightarrow$ 109 0.17116 104 $\rightarrow$ 108 0.42122 104 $\rightarrow$ 109 -0.23655 106 $\rightarrow$ 110 -0.12536 107 $\rightarrow$ 110 0.17354 107 $\rightarrow$ 111 -0.38504	0.0279
$S_0 \rightarrow S_{15}$	259.64	4.7752	102 $\rightarrow$ 108 0.66097	0.0088
$S_0 \rightarrow S_{16}$	257.42	4.8165	102 $\rightarrow$ 108 -0.17241 105 $\rightarrow$ 111 -0.13670 106 $\rightarrow$ 110 -0.27554 106 $\rightarrow$ 111 -0.34173 106 $\rightarrow$ 114 0.10114 107 $\rightarrow$ 110 -0.12171 107 $\rightarrow$ 111 0.14355 107 $\rightarrow$ 112 0.37305 107 $\rightarrow$ 113 0.14731	0.0720

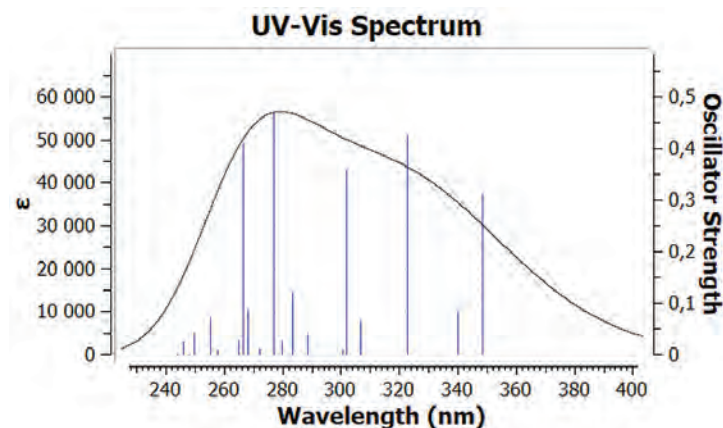


Рисунок 2 – Спектр поглощения молекулы

Вторая широкая и интенсивная полоса поглощения с максимумом при 323.19 нм относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ($S_0 \rightarrow S_3$). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению двух функций. Возбуждение электрона с 106 МО на 108 МО дает главный вклад в полосу поглощения при 323.19 нм (табл. 1, рис. 2). Остальные переходы имеют маленькое значение f и запрещены по симметрии.

Теоретический спектр поглощения оптимизированной молекулы в среде растворителя рассчитан с помощью программного пакета Gaussian 16, используя уровень теории TD-DFT/RB3LYP/6-31++G. Усредненный масштабирующий коэффициент программы при расчете УФ спектров равен 0.99. Рассчитанный электронный спектр поглощения молекулы в среде растворителя представлен на рисунке 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Siyamak Shahab, Masoome Sheikhi, Liudmila Filippovich, Evgenij Dikumar, Radwan A. Alnajjar, Mikhail Atroshko and Marina Drachilovskaya, "Antitumor and Antioxidant Activities of the New Synthesized Azomethine Derivatives: Experimental and Theoretical Investigations", Letters in Organic Chemistry (2020) 17:1.

2. Атрошко М.А., Шахаб С.Н. Квантово-химический расчет и синтез новых азометиновых соединений, обладающих антиоксидантной активностью / Атрошко М.А., Шахаб С.Н. // Сахаровские чтения 2019 года: Экологические проблемы XXI века, Минск, 23–24 мая 2019 г. – С. 62–65.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

FORECASTING THE SPREAD OF INFECTIOUS DISEASES USING TIME SERIES ANALYSIS

И. В. Лефанова^{1,2}, Т. В. Смирнова^{1,2}

I. V. Lefanova^{1,2}, T. V. Smirnova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
eis@iseu.by, irina.lefanova@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе представлен обзор основных способов прогнозирования распространения эпидемий инфекционных заболеваний и формирования краткосрочных, так и долгосрочных проекций заболеваемости, а также рассматривается применение интегрированной модели авторегрессии – скользящего среднего ARIMA для прогнозирования распространения инфекционных заболеваний на примере данных о распространении COVID-2019 с web-ресурса <https://ourworldindata.org/coronavirus>

The paper presents an overview of the main methods for predicting the spread of epidemics of infectious diseases and the formation of short-term and long-term projections of morbidity, and also considers the use of an integrated

autoregression model – ARIMA moving average to predict the spread of infectious diseases using the data on the spread of COVID-2019 from the [https web resource](https://ourworldindata.org/coronavirus) as an example. <http://ourworldindata.org/coronavirus>.

Ключевые слова: Математическое моделирование, временные ряды, прогнозирование, модель ARIMA.

Keywords: Mathematical modeling, time series, forecasting, ARIMA model.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-399-402>

Математические методы прогнозирования распространения инфекционных заболеваний активно исследуются с начала двадцатого века. В последние годы в связи с появлением и распространением коронавирусной болезни (CoViD19), которая может закончиться тяжелым острым респираторным синдромом (SARS-COV-2), а также большим объемом статистических данных по заболеваемости количество исследований по данной тематике стремительно растет. Первый случай нового коронавируса, известного как SARS-CoV-2 и обычно именуемого COVID-19, был зарегистрирован в декабре 2019 года в городе Ухань в Китае.

Несмотря на существование ряда известных математических моделей распространения инфекционных заболеваний, ни одна из них не может с достаточной долей вероятности спрогнозировать ситуацию развития пандемии вируса Covid-19.

Для того, чтобы модель с точностью отражала реальное положение распространения инфекционного заболевания необходимы точные статистические данные и грамотный анализ внешних факторов, которые влияют на распространение эпидемии как качественно, так и количественно. К таким факторам, кроме собственно показателей, характеризующих инфекцию, при рассмотрении инфекционных заболеваний обычно относят плотность населения региона, средний возраст населения и соотношение лиц разных возрастных категорий, карантинные меры, степень социальной активности групп населения и т.п. Вместе с тем, большинство данных факторов, способствующих формированию наиболее точного прогноза не являются очевидными и с большой долей неопределенности могут быть включены в математические модели.

Все математические модели распространения инфекционных заболеваний можно разделить на три большие категории:

- 1) Статистические модели, в основе которых лежат линейная и логистическая регрессия, а также ряд других методов машинного и глубокого обучения;
- 2) Компартментные математические модели, в основе которых лежит разделение населения определенного региона на ряд компартмент и описание состояний компартмент и соотношений между ними при помощи систем дифференциальных уравнений (SIR – susceptible, infected, recovered, SEIR – susceptible, exposed, infectious, removed; SEIRS – susceptible, exposed, infected, recovered, succumbed);
- 3) Гибридные или смешанные модели, включающие в себя элементы статистических и компартментных моделей с целью повышения точности прогноза.

В указанных типах моделей могут применяться следующие вычислительные методы и алгоритмы:

- 1) метод наименьших квадратов;
- 2) нейронные сети разного типа;
- 3) алгоритм случайного леса;
- 4) метод ближайших соседей разных модификация;
- 5) методы опорных векторов;
- 6) кластерный анализ данных.

Согласно используемому математическому аппарату, все математические модели прогнозирования распространения эпидемий инфекционных заболеваний можно разделить на следующие категории:

1. Классические эпидемиологические модели переходов состояний, или компартментные модели. Данные модели предполагают большую степень неопределённости при построении первоначальной системы дифференциальных уравнений для описание переходов индивидов из одной компартменты в другую, причем при введении дополнительных компартмент для учета того или иного социального фактора, влияющего на распространение инфекционного заболевания степень неопределенности увеличивается и в систему включаются дополнительные уравнения.

2. Модели, основанные на анализе временных рядов, в частности ARIMA-модели. Данные модели при проведении полного анализа и составления прогноза достаточно сложно настроить, однако они дают обычно хороший результат в том случае, если требуется качественный прогноз на среднесрочный и краткосрочный период времени.

3. Адаптивные модели экспоненциального сглаживания стали достаточно популярным инструментом прогнозирования развития пандемии именно коронавирусной инфекции.

Главной задачей анализа временного ряда является получение исчерпывающей информации, выявление всех возможных зависимостей в анализируемых данных: общий тренд развития показателя временного ряда, циклические и сезонные колебания, а также стохастическую (случайную) составляющую временного ряда.

Под временным рядом понимают упорядоченную во времени последовательность значений вида

$$Y(t) = Y_1, Y_2, \dots, Y_t,$$

где t – момент времени.

Для определения модели временного ряда последовательно идентифицируют сезонные и циклические компоненты, далее детерминированную составляющую, и, в конечном итоге, обрабатывают остаточный ряд с помощью метода авторегрессионного проинтегрированного скользящего среднего (ARIMA).

Порядок модели ARIMA изображается как (p, d, q) со значениями для порядка или количества раз, когда функция встречается при запуске модели.

Модель ARIMA использует разностные данные, чтобы сделать их стационарными, что означает согласованность данных во времени. Эта функция устраняет влияние тенденций или сезонности, таких как рыночные или экономические данные.

Сезонность возникает, когда данные демонстрируют предсказуемые повторяющиеся закономерности. Крайне важно контролировать сезонность, поскольку она может повлиять на точность результатов.

Модели ARIMA могут быть построены с использованием сезонных и несезонных форматов. Сезонная модель должна учитывать количество событий в каждом сезоне в дополнение к авторегрессионным, разностным и средним условиям для каждого сезона.

Бокс и Дженкинс (1971) представили метод, который сочетает в себе авторегрессионные модели (AR) и модели скользящего среднего (MA). Модель ARMA (p, q) представляет собой комбинацию моделей AR (p) и MA (q) и лучше всего подходит для моделирования одномерных временных рядов.

Модель ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) представляет собой один из способов анализа и прогнозирования временных рядов. Модели ARIMA широко использовались для обнаружения вспышек инфекционных заболеваний. Модель ARIMA была создана Боксом и Дженкинсом в 1970-х годах для описания изменений временного ряда в математическом подходе. В прошлом ARIMA использовалась для прогнозирования нескольких вспышек заболеваний, таких как геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, гепатит-B и др.

Модель ARIMA состоит из трех компонентов:

– AR (Авторегрессия) – означает авторегрессию, которая показывает изменяющуюся переменную, которая регрессирует на свои собственные предыдущие или запаздывающие значения. Другими словами, он предсказывает будущие значения на основе прошлых значений и определяется параметром p в модели авторегрессии

$$Y_t = \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t,$$

который определяется по PACF (partial auto-correlation function) – частной корреляционной функции, или частичной автокорреляции, между Y_t и Y_{t-k} при исключении влияния $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-k+1}$. $\theta_1, \dots, \theta_p$ – оцениваемые коэффициенты, ε_t – случайное возмущение, описывающее влияние переменных, не учтенных в модели.

– MA (скользящее среднее) – используется для определения количества прошлых ошибок прогноза, используемых для прогнозирования будущих значений; представляет собой зависимость между наблюдаемым значением и остаточной ошибкой модели скользящего среднего, примененной к предыдущим наблюдениям определяется параметром q , получаемого из ACF (auto-correlation function, автокорреляционная функция)

$$\rho_k = \frac{\text{cov}\{Y_t, Y_{t-k}\}_t}{\text{var}\{Y_t\}_t},$$

$$y_t = \varepsilon_t + \alpha \varepsilon_{t-1} + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q},$$

где ε_t – белый шум, всегда являющийся стационарным процессом. Скользящее среднее показывает наличие колебаний в ряду. Чем выше значение скользящего среднего, тем выше вероятность колебаний.

– I (интегрирующий член) – он наблюдает разницу между статическими значениями данных и предыдущими значениями. Цель состоит в том, чтобы получить стационарные данные, не зависящие от сезонности. Это означает, что статистические свойства рядов данных, такие как среднее значение, дисперсия и автокорреляция, остаются постоянными во времени. Для проверки стационарности ряда используются расширенный тест Дики-Фулера (ADF) тест Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина (Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin, KPSS). Эти же тесты позволяют определить параметр d модели.

Модель авторегрессионного интегрированного скользящего среднего, или ARIMA, представляет собой подход к прогнозированию временных рядов, который используется для прогнозирования будущего значения переменной на основе ее собственных прошлых значений. Он использует авторегрессию и скользящее среднее, а также включает дифференциальный порядок для удаления тренда и/или сезонности. Модель ARIMA (p, d, q) для нестационарного временного ряда $T(n)$ имеет вид

$$\Delta^d T(n) = c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d T(n-i) + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon(n-j) + \varepsilon(n)$$

В данном выражении $\varepsilon(n)$ – стационарный временной ряд белого шума, c, a_i, b_j – параметры модели, Δ^d – оператор разности временного ряда порядка d , гарантирующий стационарность ряда (последовательное взятие d раз разностей первого порядка – сначала от временного ряда, затем от полученных разностей первого порядка, затем от второго порядка и т. п.)

Идея анализа временного ряда заключается в нахождении зависимости текущего значения от показателей предыдущих временных отрезков. При зависимости только от предыдущего значения, говорят об авторегрессии

первого уровня AR ($p=1$) от двух предыдущих – AR ($p=2$) и т.д. Помимо самих значений временных рядов, зависимость может быть найдена и в ошибках значений каждой временной точки. В случае, если текущая ошибка зависит только от предыдущей, то это первый порядок скользящего среднего MA ($q=1$), если ошибка зависит от двух предыдущих ошибок – MA ($q=2$) и т. д. Таким образом, частным случаем модели ARIMA является модель ARMA с параметрами (p, q). Данной моделью можно пользоваться только если временной ряд является стационарным.

Для достижения стационарности необходимо брать разности ряда до тех пор, пока он не станет стационарным (часто также применяют логарифмическое преобразование для стабилизации дисперсии). Число разностей, которые были взяты, чтобы достичь стационарности, определяются параметром d . В итоге получаем единую модель ARIMA (p, d, q), которую принято считать процессом авторегрессии порядка p и d раз проинтегрированного скользящего среднего порядка q .

Подбор коэффициентов p и q модели ARIMA выполняется с помощью вычисления функции автокорреляции (ACF – autocorrelation function) и частичной автокорреляции (PACF – partial autocorrelation function) и анализа их графиков. После анализа графиков автокорреляции подбирается одна или несколько конфигураций ARIMA-моделей. Для оценки качества модели и выбора из ряда созданных моделей одной оптимальной может быть использован информационный критерий Акаике (AIC – Akaike information criteria), при этом наилучшей считается модель с наименьшим значением критерия.

Информационный критерий Акаике применяется для выбора оптимальной статистической модели из нескольких существующих. В общем случае данный критерий может быть определен как

$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

где k – число параметров в статистической модели, а L – максимизированное значение функции правдоподобия модели.

Абсолютное значение информационного критерия Акаике не имеет смысла, он указывает только на относительный порядок сравниваемых моделей.

Затем с помощью ACF оцениваются остатки модели. Если отсутствует автокорреляция остатков, то ARIMA-модель конкретного показателя считается финальной и используется для прогнозирования, если же остатки модели автокоррелируют, то модель признается негодной для прогнозирования.

Наиболее популярными мерами точности прогноза в одномерных данных временного ряда являются среднеквадратическая ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка в процентах (MAPE). RMSE и MAPE вычисляются как

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right| * 100,$$

где n – фактическое и прогнозируемое значения в момент времени соответственно, t – последовательность моментов времени. Меньшее значение RMSE и MAPE указывает на лучшую калибровку и, следовательно, на лучшую производительность.

ARIMA-метод является достаточно гибким, наиболее точным и дает наиболее правдоподобный прогноз.

Ежедневные данные о всех зарегистрированных случаях COVID-19 для обучения модели берутся с веб-ресурса <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cryer J., Chan K. Time Series Analysis/ J. Cryer, K. Chan. – New York: Springer, 2008. – 491 p.
2. Azar A., Hassanien A. Modeling, Control and Drug Development for COVID-19 Outbreak Prevention / A. Azar, A. Hassanien – New York: Springer, 2022. – 1122 p.
3. Metcalfe A., Cowpertwait P. Introductory Time Series with R/ A. Metcalfe, P. Cowpertwait – New York: Springer, 2009. – 246 p.
4. Brockwell P., Davis R. Introduction to Time Series and Forecasting/ P. Brockwell, R. Davis – New York: Springer, 2016. – 425 p.

**QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION
OF N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl) benzene sulfonamide COMPOUND
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
N-(2-гидрокси-3,5-диизопропилфенил) бензенсульфонамида**

Zhang Zhibo^{1,2}, Siyamak Shahab^{1,2}, A. Labanava^{1,2}

Чжан Чжибо^{1,2}, Сиямак Шахаб^{1,2}, Е. Лобанова^{1,2}

¹*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

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

kbb@iseu.by., 844462834@qq.com

¹*Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

²*Учреждение образования «Международный государственный экологический
институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета,
МГЭИ им. А. Д. Сахарова, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

This paper represents theoretical calculations related to newly synthesized phenol compound for defining its optimized geometry, free energy and form of molecular orbitals participated in formation of UV/Vis spectrum.

В этой статье представлены теоретические расчеты нового соединения N-(2-гидрокси-3,5-диизопропилфенил) бензенсульфонамида для определения его равновесной геометрии, свободной энергии и вида молекулярных орбиталей, участвующих в формировании спектра поглощения.

Keywords: computer chemistry, DFT, UV/Vis spectrum.

Ключевые слова: компьютерная химия, ДФТ, УФ спектр.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-403-405>

For calculations, we used a personal computer with an intel core i7 processor (2.21 GHz CPU) with the Ubuntu 18.04 operating system installed. When calculating the initial geometry of a molecule with an N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl) benzene sulfonamide compound base, the method of molecular mechanics (MM+) of the Hyper Chem 08 software package was chosen. calculation parameters depending on the specific problem. The starting geometry of the molecule was additionally optimized in the solvent medium of Water by the semiempirical PM6 method of the Gaussian 16 software package until the global minimum of the total energy of the systems under study was reached. To find the global energy minimum and the most stable conformers, we analyzed all stationary points on the potential energy surface of molecules. The PM6 method is used to find optimized geometric configurations, the total energy of molecules, electronic properties, and the enthalpy of formation of substances [2]. The Gauss View 06 program was used to visualize the results. The equilibrium geometry of the molecule by the PM6 semiempirical method is shown in Figure 1.

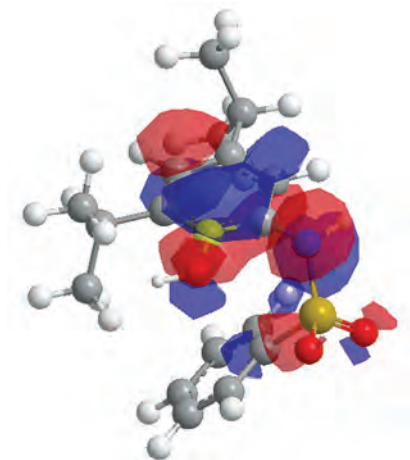


Figure 1 – Optimized molecule by PM6 method

Quantum Chemical Simulation of the Equilibrium Geometry and Electronic Structure of N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl) benzenesulfonamide. Full optimization and calculation of the electronic structure were carried out by PM6 method. This method is used to calculate the optimized geometries, electronic absorption spectra, total energy

and heat of formation, and was used by us to calculate the electronic absorption spectrum of N-(2-hydroxy-3,5- diisopropylpheny) benzenesulfonamide. Electronic spectrum of the N-(2-hydroxy-3,5- diisopropylpheny) benzenesulfonamide is calculated for 10 one-electron excitations in the region 276.79-595.40 nm. The results of calculation of the absorption spectrum are given in the table.

The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 291.63$ nm and $f = 0.0441$ (Table, Fig. 2, 3). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 291.63 nm, which refers to the electron transition to the excited singlet state

$S_0 \rightarrow S_8$. The remaining transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

The theoretical absorption spectrum of the optimized molecule in a solvent medium was calculated using the Gaussian 16 software package using PM6 method. The calculated electronic absorption spectrum of a molecule in a solvent medium is shown in Figure 2.

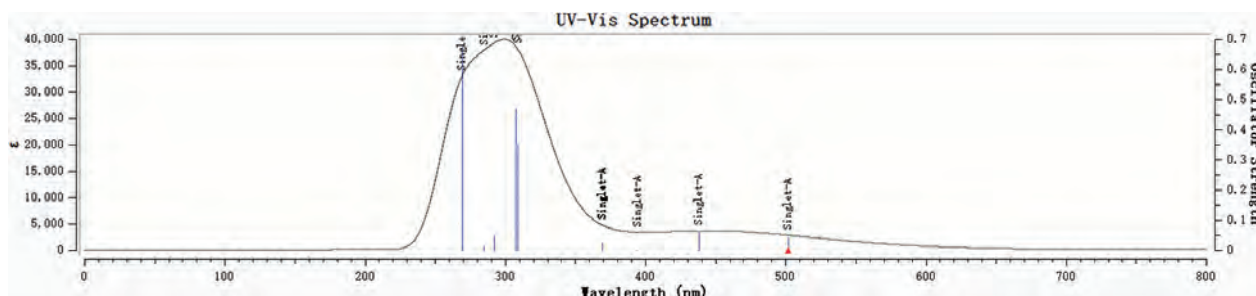


Figure 2 – Absorption spectrum of the title molecule

Table – Calculated electronic absorption spectrum of the molecule (A)

Excited State	Wavelength (nm)	Excitation Energy (eV)	Configurations Composition (corresponding transition orbitals)	Oscillator Strength (f)
$S_0 \rightarrow S_1$	502.50	2.4674	-0.15(61->64)-0.27(61->66)-0.10(62->63)-0.47(62->64)+0.21(62->66)-0.28(62->67)	0.0413
$S_0 \rightarrow S_2$	436.83	2.8383	0.22(61->64)+0.20(61->67)-0.29(62->64)-0.55(62->66)	0.0576
$S_0 \rightarrow S_3$	393.45	3.1512	0.12(40->68)-0.47(59->63)-0.46(60->65)	0.0016
$S_0 \rightarrow S_4$	369.30	3.3573	0.24(59->65)-0.46(60->63)+0.12(61->66)-0.14(62->63)-0.17(62->64)+0.32(62->67)	0.0395
$S_0 \rightarrow S_5$	365.49	3.3923	0.10(58->64)+0.22(59->65)-0.41(60->63)-0.12(61->66)+0.10(62->63)+0.21(62->64)-0.36(62->67)+0.10(62->71)	0.0163
$S_0 \rightarrow S_6$	309.12	4.0109	-0.30(61->64)+0.46(61->66)+0.15(62->64)-0.20(62->66)+0.25(62->67)	0.3583
$S_0 \rightarrow S_7$	307.58	4.0309	-0.30(61->64)+0.31(61->66)-0.33(61->67)-0.25(62->66)-0.12(62->67)	0.4533
$S_0 \rightarrow S_8$	291.63	4.2515	-0.11(61->67)-0.13(61->69)+0.45(62->69)-0.16(62->70)-0.27(62->71)-0.22(62->73)+0.11(62->78)	0.0441
$S_0 \rightarrow S_9$	284.18	4.3628	-0.64(62->63)+0.18(62->64)	0.0115
$S_0 \rightarrow S_{10}$	269.26	4.6046	0.47(59->63)-0.46(60->65)	0.6897

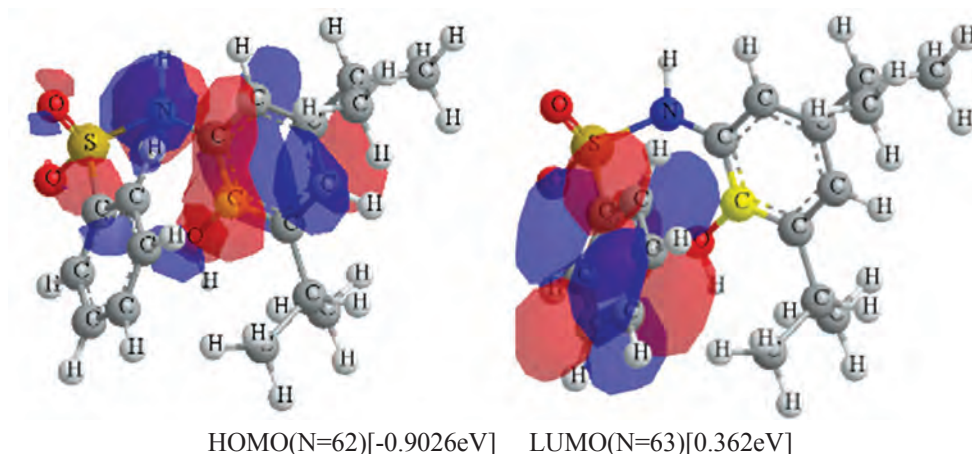


Figure 3 – Types of molecular orbitals involved in the formation of the absorption spectrum of a molecule (A) at $\lambda = 297.63$ nm

Conclusion. We used a personal computer with an intel core i7 processor (2.21 GHz CPU) with the Ubuntu 18.04 operating system installed. When calculating the initial geometry of a molecule with an N-(2-hydroxy-3,5-diisopropylphenyl) benzene sulfonamide compound base, the method of molecular mechanics (MM+) of the Hyper Chem 08 software package was chosen. The maximum wavelength with a high oscillator strength was observed at $\lambda = 291.63$ nm and $f = 0.0441$ (Table, Fig. 2,3). The calculation showed that the strongest electron transition is observed at the absorption maximum of 291.63 nm, which refers to the electron transition to the excited singlet state $S_0 \rightarrow S_8$. The remaining transitions have a small value of f and are forbidden by symmetry.

REFERENCES

1. *Shahab, S.* Interaction between new synthesized derivative of (E,E)-azomethines and BN(6,6-7) nanotube for medical applications: Geometry optimization, molecular structure, spectroscopic (NMR, UV/Vis, excited state), FMO, MEP and HOMO-LUMO investigations / S. Shahab [at all] // Journal of Molecular Structure. – 2017. – Vol. 1. – No. 1146. – P. 881–888.
2. *Sheikhi, M., Shahab, S., Filippovich, L., Khaleghian, M., Dikumar, E., Mashayekhi, M.* Interaction between new synthesized derivative of (E,E)-azomethines and BN(6,6-7) nanotube for medical applications: Geometry optimization, molecular structure, spectroscopic (NMR, UV/Vis, excited state), FMO, MEP and HOMO-LUMO investigations // Journal of Molecular Structure. – 2017. – No. 1146. – P. 881–888.

СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И СОЗДАНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ УПРАВЛЕНИЯ В ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

COMPUTER VISION SYSTEM AND CREATION OF CONTROL INTERFACES IN AUGMENTED REALITY

C. B. Ткаченко^{1,2}, Т. В. Смирнова^{1,2}

S. Tkachenko^{1,2}, T. Smirnova^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus
smirnova@iseu.by

Представлены реализованные алгоритмы по созданию интерфейса «человек-компьютер», основанные на технологии компьютерного зрения и решении задачи распознавания компьютером жестов пользователя.

Implemented algorithms for creating a human-computer interface based on computer vision technology and solving the problem of recognizing user gestures by a computer are presented.

Ключевые слова: компьютерное зрение, CV, анализ изображений, дополненная реальность, ключевые точки руки, фреймворк MEDIAPIPE.

Keywords: computer vision, CV, image analysis, augmented reality, hand keypoints, framework MEDIAPIPE.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-405-408>

Введение. Вычислительные мощности современной компьютерной техники, повышение качества и скорости обработки аудио- и видеoinформации способны во многом изменить качество жизни современного человека. Автоматизированные системы и аппаратно-программные комплексы, основанные на обработке информации с помощью технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта – наиболее приоритетные направления прикладных исследований.

Компьютерное зрение – это область искусственного интеллекта, связанная с фиксацией и обработкой неподвижных и движущихся объектов при помощи компьютера. С помощью зрения люди воспринимают окружающий мир. Но использование зрительной системы человека ограничено рядом объективных и субъективных особенностей, что требует использования дополнительных устройств. Компьютерное зрение включает в себя набор методов, наделяющих компьютер способностью «увидеть» и извлечь из увиденного полезную информацию. Для этого используют технологии машинного обучения.

Первые попытки заставить компьютер воспроизводить и автоматизировать зрительные функции человека относятся к середине 20 века. Но только в последние годы возможности компьютерного зрения стали находить все больше применений в различных отраслях. Основной рост внедрения решений произошел, когда стали более активно использоваться искусственные нейронные сети при поиске и обработке информации.

Современные решения с использованием компьютерного зрения находят применение в таких областях, как визуальный поиск объектов; распознавание текста и изображений; системы безопасности и контроля; навигация и транспортировка, робототехника, медицина и др.

Актуальность и практическая значимость работы обусловлена потребностью в автоматизированных устройствах, основанных на доступной элементной базе, и созданию для них программного обеспечения. Такие устройства, кроме оперативной обработки видеоданных, способны решать задачи организации естественного интерфейса «человек-техническое устройство», основанного на жестах, мимике, голосовых командах. Кроме того, возможна реализация зрительной обратной связи при работе управляемых устройств и созданию механических манипуляторов.

Системы и методы обработки изображений. Системы компьютерного зрения (CV) состоят из фото- и/или видеокамер для фиксации изображения, и аппаратной части – компьютера, при помощи которого происходит анализ и обработка полученных изображений или видеофрагментов. Для анализа и обработки полученных фото- или видеоданных с использованием компьютерного зрения используют программные решения, собранные в различные библиотеки. Наиболее известные из них:

- *OpenCV* (Open Source Computer Vision Library) – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения. Реализована на языке C/C++, также разрабатывается для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua и других языках

- *Amazon Recognition* – платформа с возможностью глубокого анализа попавших в объектив камеры предметов, сооружений и людей. Сервис является частью системы с интегрированным механизмом полномасштабного самообучения. При использовании платформы для распознавания лица программное обеспечение определит по внешним признакам текущее эмоциональное состояние исследуемой личности. Методика включает в себя сравнение двух изображений на основе 10^6 признаков.

- *CUDA* (Compute Unified Device Architecture) – программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений, которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность благодаря использованию графических процессоров фирмы Nvidia.

В простых системах обработки CV обычно требуется получить количественную и качественную информацию из визуальных данных. В основном это такие параметры, как размер, цвет, количество, направление и характер движения объекта, а также контрастные переходы в окрестностях пикселя изображения, из которых можно выделить характерные особенности. На основе этих параметров производится анализ изображения для извлечения нужной информации. Вся обработка в готовых программных решениях происходит на серверах, куда камеры передают данные. Передача данных через интернет замедляет или даже останавливают процесс обработки. Поэтому нужны «автономные» решения.

В области компьютерного зрения принято выделять следующие основные этапы обработки данных [1]:

1. предварительная обработка изображений, включая его преобразование в цифровую форму;
2. сегментация, с последующим анализом полученного результата;
3. выделение геометрической структуры;
4. идентификация или классификация изображения, его «понимание».

Уровни обработки, связанные с этими этапами, относятся к обработке нижнего, среднего, высокого уровня, соответственно. Наиболее исследованы алгоритмы обработки нижнего уровня (линейная и нелинейная фильтрация, гистограммная обработка). В разработке методов обработки среднего уровня (сегментация и выделение геометрической структуры) в последнее время достигнут значительный успех, особенно при выделении признаков простых геометрических структур внутри малых фрагментов («точка», «край», «прямая линия», «угол»). Разработка методов высокого уровня – перспективное направление, используется глубокое обучение и доступные датасеты.

Использование системы компьютерного зрения как компонента дополненной реальности. Дополненная реальность – это среда, дополняющая реальный физический мир цифровыми данными с помощью каких-либо устройств. В дополненной реальности виртуальные объекты проецируются на реальное окружение. Создается же взаимодействие между реальными и виртуальными объектами с помощью компьютерного зрения.

В практической части работы разработан и реализован алгоритм по созданию и функционированию компонента дополненной реальности, выполняющий функции регулятора звука и нажатий клавиш мышки.

Обнаружение ключевых точек руки с использованием глубокого обучения и OpenCV. Обнаружение ключевых точек руки – это процесс обнаружения суставов пальцев, а также кончиков пальцев на заданном изображении. Для поиска ключевых точек предлагается использовать фреймворк MediaPipe с открытым исходным кодом, представленный Google, который помогает создавать мультимодальные конвейеры машинного обучения.

Структура MediaPipe состоит из трех основных компонентов – основа для вывода из данных конвейера, инструменты для оценки и набора повторно используемых компонентов логического вывода, и обработки.

По сути, MediaPipe использует модель однократного обнаружения руки (ладони), и как только границы ладони будут обнаружены, фреймворк выполняет точную локализацию ключевых точек в пределах границ, и выдает координаты 21 точки. Другими словами, происходит захват двадцать одной точки выпуклых частей ладони руки (Рис. 1).

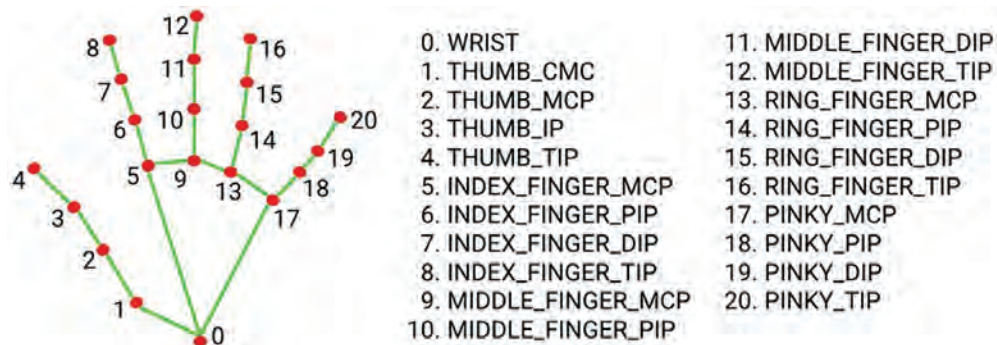


Рисунок 1 – Ключевые точки ладони

Ключевые точки позволяют восстановить полную модель ладони по ее входному изображению. Это наиболее перспективный визуальный метод распознавания жестов, так как он подразумевает полное оценивание текущего положения и динамики руки. Но метод достаточно сложен для программирования «с нуля» и ограничен по точности восстановления изображения.

В конвейере MediaPipe используется несколько моделей. Одна из них – модель обнаружения ладони, которая возвращает ограничивающую и ориентированную в пространстве рамку руки на основе ее полного изображения. Метод был взят за основу и адаптирован в виде программного модуля на языке Python. В качестве входного изображения подавалась ладонь реального пользователя [2].

1. Детектор ладони определил пространственную скелетную модель изображения руки.
2. Далее с помощью ограничивающей рамки выделялась область, содержащая полезную информацию.
3. Выделенная область подавалась на вход модели, определяющей ориентир руки
4. В результате работы программного модуля были получены высокоточные трехмерные координаты ключевых точек руки (Рис. 2).

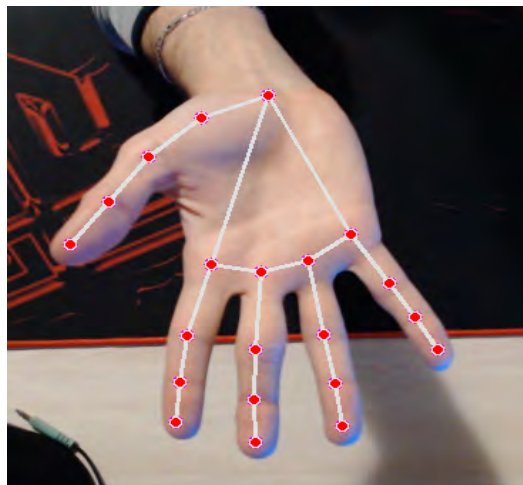


Рисунок 2 – Реальные ключевые точки в 3D-измерении

Практическое применение технологии CV для управления устройствами. Зная точные значения трехмерных координат каждой из 21 точки ладони, можно строить модели для разных практических применений. В частности, с помощью CV были реализованы интерфейсы между пользователями и компьютером, основанные на распознавании жестов и исключающие «удобные» для компьютера клавиатуру и мышь.

Управление звуком при помощи жестов. Модель руки создает локализацию руки на основе указанных ключевых точек. Результат локализации оформляется в виде программного модуля. При обращении к модулю на вход подается реальное изображение ладони руки. После обработки изображения в качестве результата будет получен массив данных (вектор), содержащий координаты 21 важной точки, образующих скелет руки. Точки всегда будут означать одно и то же, независимо от входного изображения. Например, точка №4 всегда будет кончиком большого пальца, а точка №8 всегда будет кончиком указательного пальца (Рис. 1, 3). Используя массив данных с координатами точек руки, на языке Python был реализован код, реализующий управление звуком с помощью жестов руки. Использовались элементы вектора $v[4]$, $v[5]$, $v[8]$ (Рис. 3).

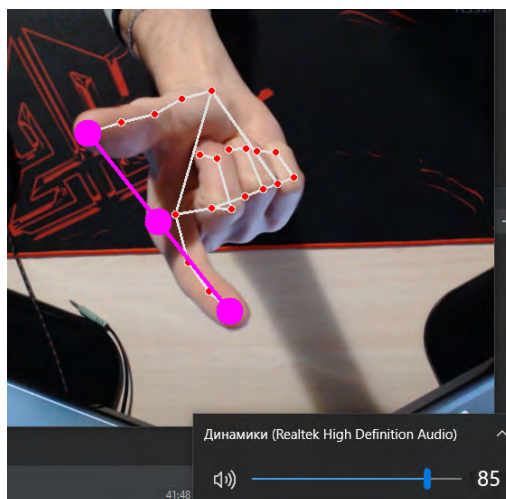


Рисунок 3 – Регулировка звука жестами

Следует отметить, что точность и скорость регулировки сильно зависят от расстояния между управляемым объектом и камерой. Точного алгоритма расчета такого расстояния нет, поскольку оно определяется во многом индивидуальными характеристиками. Расстояние определялось экспериментально, $l=500$ мм от камеры. При уменьшении расстояния действий по регулировке требовалось меньше, но и точность падала. При увеличении расстояния произвести регулировку не удавалось.

Как вывод, можно утверждать, что в видеопотоке можно определить только относительный размер и расстояние между объектами. Для получения абсолютных размеров надо знать скорость и направление.

Управление нажатием кнопками мышки при помощи жестов.

Этапы по управлению компьютерной мышкой состоят в следующем (Рис. 4):

- поиск основных ключевых точек на руке и получение 3D-координат найденных точек;
- определение управляющих пальцев;
- соотношение координат рабочего стола и выделенной рамки руки;
- передвижение компьютерной мыши и обработка нажатий.

Как и в системе управления звуком, основные взаимодействия с пользователем с системой компьютерного зрения происходили на расстоянии $l=500$ мм от камеры. Данное расстояние было отрегулировано на основании первой модели управления, что позволит в дальнейшем комбинировать две разработанные модели в одну систему.

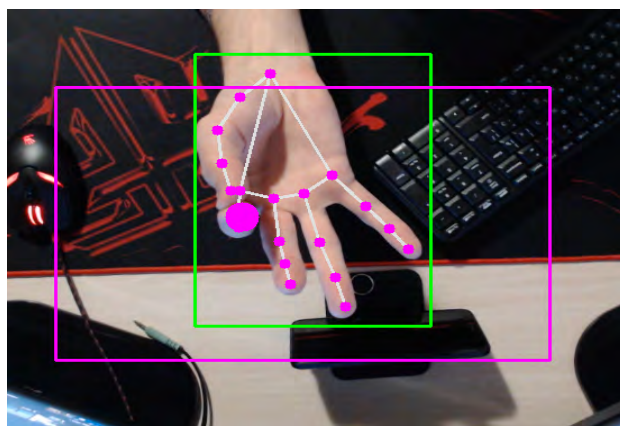


Рисунок 4 – Регулировка нажатий кнопок мышки

Закключение. Машинное зрение, как отрасль знания, ориентирована прежде всего на практическое применение. Алгоритмы обработки изображений трудоемкие, а их реализация требует колоссального объема расчетов. Еще большие вычислительные затраты требуются при обработке изображений в режиме реального времени. Учитывая, что основные приложения машинного зрения принадлежат к областям, где характеристики конструируемых устройств как по объему, так и по стоимости должны быть небольшими, особый интерес представляет разработка алгоритмов для маломощных вычислительных устройств. В работе представлен и реализован алгоритм по созданию бесконтактного интерфейса «человек-компьютер», основанный на распознаваемых компьютером жестах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форсайт Д, Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Изд. дом «Вильямс», 2004 – 928 с.
2. Шакирьянов, Э.Д. Компьютерное зрение на Python. – Лаборатория знаний, 2021. – 160 с.

ЛОКАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ Г. МИНСКА

LOCAL CLIMATE ZONES OF MINSK CITY

Т. В. Шлендер¹, М. В. Буруков², Е. А. Ярош², Е. А. Прокопчик², Н. В. Жуковская²

T. Schlender¹, H. Birukou², Y. Yarash², Y. Prakopchyk², N. Zhukovskaya²

¹Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ

²Белорусский государственный университет, Факультет географии и геоинформатики

г. Минск, Республика Беларусь

timajaya@mail.ru

maxbirukov2004@gmail.com

ogurchikop7@gmail.com

zenya2004.6@gmail.com

zhukovskaya@bsu.by

¹National Ozone Monitoring and Research Center BSU

²Faculty of geography and geoinformatics BSU, Minsk, Republic of Belarus

Рассматривается понятие локальных климатических зон. Построена карта локальных климатических зон города Минска по международной классификации WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) на основе данных генерального плана столицы. Использовалась методика определения поверхностной температуры с помощью интернет ресурса Google Earth Engine. Показано распределение поверхностного температурного поля г. Минска за период 2013–2021 гг. с учетом различных зон генерального плана столицы, полученные спутниковым аппаратом Landsat-8. Выделены наиболее теплые зоны города Минска по градации поверхностной температуры с помощью программного пакета QGIS.

The concept of local climatic zones is considered. A map of the local climatic zones of the city of Minsk according to the WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) international classification was built based on the data of the general plan of the capital. The method of determining the land surface temperature using the Google Earth Engine was used. The distribution of the land surface temperature field in Minsk for the period 2013–2021 is shown, taking into account the various zones of the general plan of the capital, obtained by the satellite Landsat-8. The warmest zones of the city of Minsk are identified according to the gradation of surface temperature using the QGIS software package.

Ключевые слова: LCZ, городской остров тепла, поверхностная температура, Landsat-8, генплан, Google Earth Engine.

Keywords: LCZ, urban heat island, land surface temperature, Landsat-8, general plan, Google Earth Engine.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-409-412>

В глобальном масштабе наиболее ярким примером проекта по построению базы данных о структуре и свойствах городов является WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools, <http://www.wudapt.org>) [1]. WUDAPT представляет собой открытый общественный международный проект, нацеленный на подготовку, обобщение и хранение данных о городах мира, полученных из открытых источников с помощью свободного программного обеспечения.

WUDAPT предполагает выделение нескольких уровней подготовки данных о структуре и свойствах города по мере повышения детализации и перехода от зонирования города к характеристикам отдельных объектов. На самом крупномасштабном уровне данных используется подход, основанный на концепции локальных климатических зон (local climate zones, LCZ). Выделение локальных климатических зон на территории городов и их окрестностей обеспечивает возможность простого и универсального описания структуры городов в различных регионах планеты в наиболее удобном виде для использования в климатических исследованиях.

Таким образом, в WUDAPT формируется единый набор категорий (LCZ), обеспечивая некую унификацию и возможность сравнительного анализа результатов, получаемых при подготовке данных и моделировании для различных городов. Конкретные локальные климатические зоны связаны с измеримыми характеристиками городской территории и процессов функционирования города, а также с отличительными температурными особенностями локального городского климата, которые обусловлены свойствами городской поверхности и интенсивно изучались в рамках исследований феномена городского острова тепла для различных городов. Наконец, было показано, что выбранные типы LCZ могут быть легко идентифицированы на основе различных данных наблюдений, включая как спутниковые, так и радарные измерения с воздуха [1].

В настоящий момент в WUDAPT содержатся предоставленные участниками проекта данные по разбиению на LCZ для ряда городов мира, и этот перечень постоянно расширяется. Предлагаемый алгоритм подготовки

данных по умолчанию основывается на использовании находящихся в свободном доступе спутниковых данных Landsat в сочетании с «локальными данными» о рассматриваемом городе, при этом для обработки используется свободная ГИС.

Выделение категорий LCZ в WUDAPT основывается на следующих критериях [2]:

1. Высота объектов (зданий и растительности);
2. Плотность размещения объектов (зданий и растительности);
3. Характер поверхности вокруг объектов (проницаемые поверхности из низкой растительности или почвы, непроницаемые каменные или бетонные поверхности);
4. Тепловые свойства строительных материалов (высокая или низкая тепловая инерция).

Полный перечень LCZ приводится в таблице 1.

С помощью Google Earth Planet были выделены полигоны локальных климатических зон г. Минска согласно классификации WUDAPT. Готовый файл (формата kml, kmz) был отправлен на интернет-ресурс LCZ-Generator [2], который автоматически сгенерировал итоговую карту локальных климатических зон.

Распределение поверхностной температуры г. Минска было получено на основе снимков спутника Landsat – 8 за период 2013–2021 гг. на интернет-ресурсе Google Earth Engine, где прописывался скрипт итоговой карты поверхностной температуры, Land Surface Temperature (LST) [3]. Полученная карта LST далее редактировалась в QGIS, где выбирались цветовые заливки, рисовались необходимые слои и редактировалась итоговая карта. Разрешение карты – 30 метров в одном пикселе.

Таблица 1 – Перечень локальных климатических зон WUDAPT [2]

LCZ №	Название	Описание
1	Компактная высокэтажная застройка	● Плотно расположенные здания высотой в десятки этажей ● Деревья малочисленны или отсутствуют ● Зелёные зоны малые или отсутствуют ● Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло ● Малые изменения температуры в течение суток
2	Компактная средневысотная застройка	● Плотно расположенные здания высотой от 3 до 9 этажей ● Деревья малочисленны или отсутствуют ● Зелёные зоны малые или отсутствуют ● Стройматериалы: камень, кирпич, плитка и бетон ● Малые изменения температуры в течение суток
3	Компактная низкочислотная застройка	● Плотно расположенные здания высотой от 1 до 3 этажей ● Деревья малочисленны или отсутствуют ● Зелёные зоны малые или отсутствуют ● Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло ● Средние изменения температуры в течение суток
4	Открытая высокэтажная застройка	● Свободно стоящие здания высотой в десятки этажей ● Изобилие деревьев и растительного покрова ● Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло ● Малые изменения температуры в течение суток
5	Открытая среднеэтажная застройка	● Свободно стоящие здания высотой 3-9 этажей ● Изобилие деревьев и растительного покрова ● Стройматериалы: бетон, сталь, камень и стекло ● Средние изменения температуры в течение суток
6	Открытая низкочислотная застройка	● Свободно стоящие здания высотой 1-3 этажа ● Изобилие деревьев и растительного покрова ● Стройматериалы: дерево, кирпич, камень, плитка и бетон
7	Легкая малоэтажная застройка	● Лёгкие строительные материалы, высота 1-2 этажа ● Деревья малочисленны или отсутствуют ● Земная поверхность плотно утрамбованная ● Большие изменения температуры в течение суток
8	Крупная низкочислотная застройка	● Крупные, свободно стоящие здания высотой 1-3 этажа ● Деревья малочисленны или отсутствуют ● Земная поверхность в основном с покрытием (асфальт или др.) ● Средние изменения температуры в течение суток
9	Редкая застройка	● Редко расположенные малые или средние здания ● Естественный ландшафт ● Изобилие земной поверхности без покрытия (проницаемой) ● Большие изменения температуры в течение суток
10	Промышленная зона	● Низкие или средние по высоте промышленные объекты ● Деревья малочисленны или отсутствуют ● Поверхность в основном с покрытием или плотно утрамбованная ● Стройматериалы: сталь и бетон
A	Густой лес	Густой лес из листопадных и/или вечнозелёных деревьев. Земная поверхность в основном проницаемая (низкая растительность).
B	Редкий лес	Редкий лес из листопадных и/или вечнозелёных деревьев. Земная поверхность в основном проницаемая (низкая растительность).

LCZ №	Название	Описание
C	Кустарники	Свободно располагающиеся кусты и низкорастущие деревья. Земная поверхность в основном пронизываемая (почва или песок).
D	Трава, сельскохозяйственные растения	Ландшафт, покрытый травой или низкорастущими / сельскохозяйственными растениями. Деревья малочисленны или отсутствуют.
E	Свободная каменистая поверхность	Свободная каменистая поверхность или поверхность с покрытием (асфальт и др.). Деревья малочисленны или отсутствуют.
F	Свободная поверхность почвы или песка	Свободная поверхность почвы или песка. Деревья или другие растения малочисленны или отсутствуют.
G	Водные объекты	Крупные открытые водоёмы (моря, озёра) или малые водоёмы (реки, водохранилища и лагуны).

В качестве исходных данных для выделения зон и районов города был использован генеральный план г. Минска (2016 г. редакция) и векторные данные Open Street Maps (OSM) (границы и районы г. Минска), по которым и строились карты средних значений поверхностной температуры для каждого района и зоны в программе QGIS методом зональной статистики. То есть для каждой зоны были получены своя средняя поверхностная температура в рамках границ этой зоны. После была сделана градуированная заливка по полученным средним значениям зон и районов г. Минска. Система координат проекта: EPSG 4326 - WGS 84.

Карта локальных климатических зон (см. рис. 1) показывает, что в г. Минске больше всего по площади занимает зона 5 – открытая средневисотная застройка – 245 км², далее – зона 10 – промышленная территория – 100 км², и зона 6 – открытая низковисотная застройка – 89 км². Остальные зоны занимают менее 25 км². В целом, классификация WUDAPT детализирует зоны г. Минска с учетом расположения высотности, компактности застройки и наличия природных территорий, в отличие от генерального плана столицы, где жилые застройки делятся только на смешанные, многоквартирные и усадебные, без учета их компактности и наличия растительности. В тоже время в генеральном плане более детально представлены промышленные территории в зависимости от их санитарной зоны.

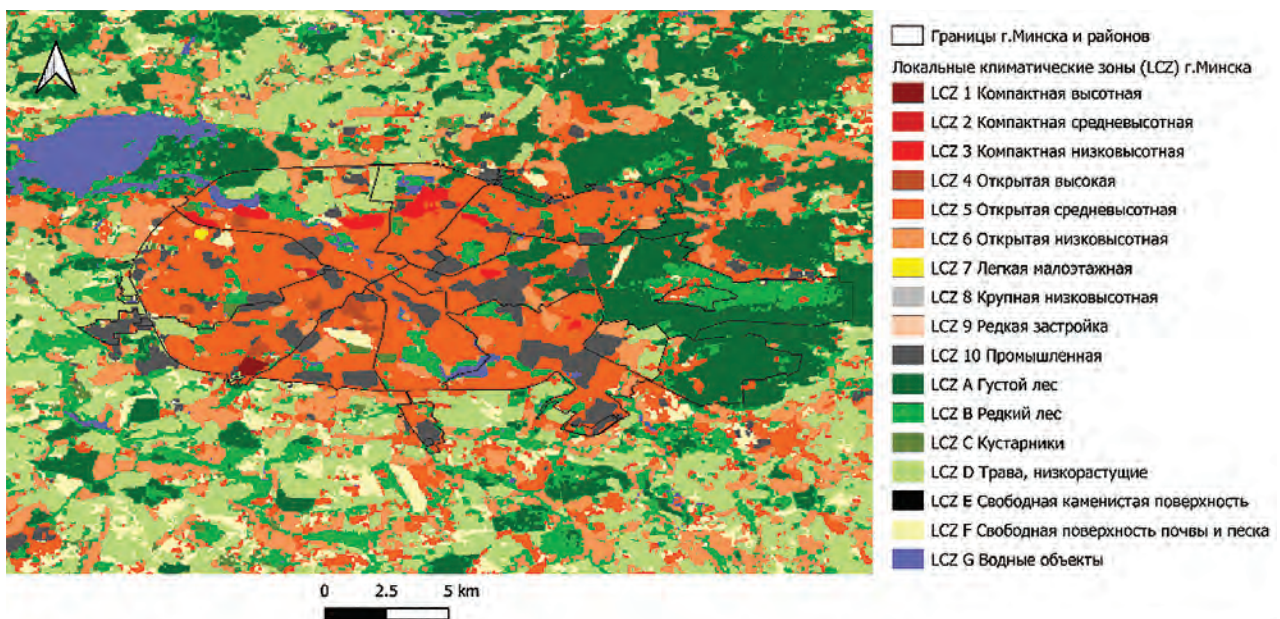


Рисунок 1 – Карта локальных климатических зон г. Минска на момент 22.02.2022 г.

Выделив все зоны г. Минска по генеральному плану, были получены средние поверхностные температуры (за период 2013–2021 гг. для каждой зоны столицы (см. рис. 2). В итоге, наиболее теплые зоны представляют все промышленные территории (от 23,5 °С и выше, центр города от 21,5 до 23,5 °С. Более прохладными зонами являются территории, где расположены природные объекты – реки, водоемы, парковые зоны с густым и редким лесом и площади, занятые травой и сельскохозяйственными угодьями (от 15 до 19,5 °С). Это север, юг, восток и северо-запад Минска. Большая часть г. Минска имеет диапазон поверхностных температур в пределах от 19,5 до 21,5 °С

На рисунке 3 представлена градуированная заливка по слою пространственных районов столицы. Наиболее теплый регион – центр (от 21 °С и выше). Наименее – северный (от 19 до 19,5 °С). Спальные районы юго-запада и запада имеют диапазон поверхностных температур от 20,5 до 21 °С. Юго-восточный район является не самым теплым, хотя по зонам генерального плана там наблюдаются самые высокие поверхностные температуры в рамках МКАДа, потому что в эту часть входят природные, более прохладные объекты, согласно пространственному выделению границ районов в данном случае. Использование слоя границ административных районов г. Минска,

в отличие от пространственного районирования территории города Минска, не отразило максимальных поверхностных температур центральной части столицы.

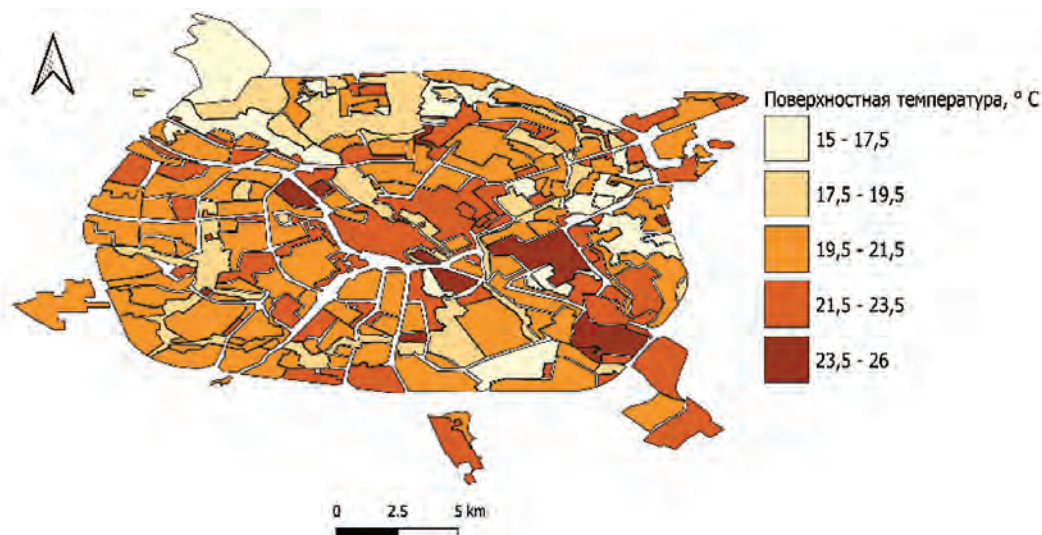


Рисунок 2 – Карта средней поверхностной температуры (LST) за период 2013–2021 гг. каждой зоны г. Минска согласно генеральному плану (2016 г. редакции)

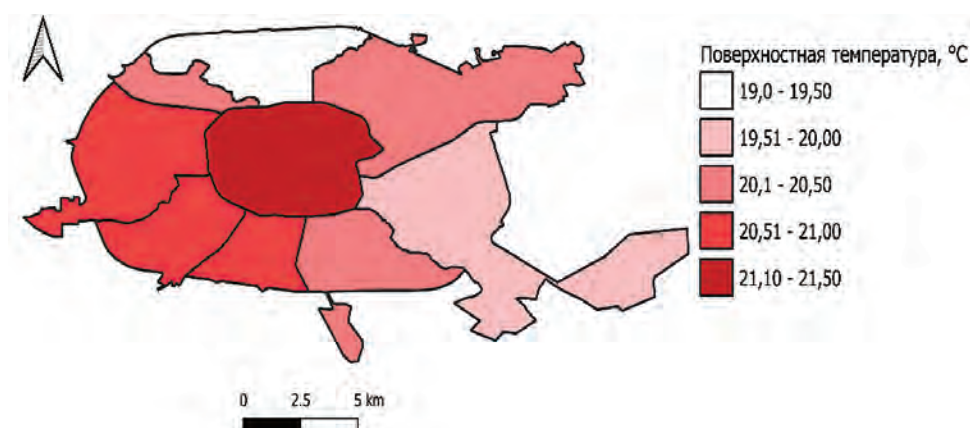


Рисунок 3 – Градация средней поверхностной температуры (LST) для районов г. Минска

В итоге, наиболее теплые районы г. Минска – центр и промышленные территории. Наименее теплые – север города, лесопарковые и водные зоны.

Таким образом, классификацию локальных климатических зон можно использовать для исследования изменений микроклимата различных городских зон, городского острова тепла, параметров термальной комфортности населения, зон проветривания города.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bechtel, B., Alexander, P., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Stewart, I. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), 199–219. <https://doi.org/10.3390/ijgi4010199>
2. Demuzere, M., Kittner, J., Bechtel, B. (2021). LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. *Frontiers in Environmental Science* 9:637455. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455>
3. Ermida, S.L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F.-M., Trigo, I.F. (2020) Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. *Remote Sens.* 12, 1471. <https://doi.org/10.3390/rs12091471>.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕАНСОВ МУЗЫКОТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ СТРИММИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

ORGANIZATION OF MUSIC THERAPY SESSIONS ON THE BASIS OF STREAMING DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES

В. А. Иванюкович^{1,2}, А. С. Тухончик^{1,2}

U. Ivaniukovich^{1,2}, A. Tsikhonchik^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

iva@iseu.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Предлагается стриминговый web-сервис для организации сеансов музыкотерапии на основе технологий облачного хранения данных для улучшения психического и физического состояния пациентов. Сервис позволяет выбирать музыкальные композиции, подобранные специалистами для различных ситуаций, или создавать индивидуальные плейлисты с учетом потребностей и предпочтений пользователя. Создаваемое программное приложение включает в себя web-версию, а также приложения для мобильных операционных систем Android и iOS. Для платформы iOS используется язык Swift и фреймворки Docker и Kitura. Для платформы Android – язык Java и фреймворки Spark и JBehave. Для реализации дизайна приложения использованы Adobe Photoshop и Figma. Кроме программистов в создании сервиса участвуют психолог и музыкальные специалисты.

A streaming web service is proposed for organizing music therapy sessions based on cloud storage technologies to improve the mental and physical condition of patients. The service allows selecting musical compositions selected by experts for various situations, or creating individual playlists based on the needs and preferences of the user. The created software application includes a web version, as well as applications for Android and iOS mobile operating systems. For the iOS platform, the Swift language and the Docker and Kitura frameworks are used. For the Android platform, the Java language and the Spark and JBehave frameworks. Adobe Photoshop and Figma were used to implement the design of the application. In addition to programmers, a psychologist and music specialists are involved in the creation of the service.

Ключевые слова: Психическое здоровье, музыкотерапия, библиотека музыкальных композиций, стриминговые технологии передачи данных, сервер, клиентское приложение, мобильные устройства.

Keywords: Mental health, music therapy, library of musical compositions, streaming data transfer technologies, server, client application, mobile devices.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-413-416>

Проблема психического здоровья населения возрастает по многим причинам – интенсивная профессиональная деятельность вследствие увеличения информационных потоков, повышенная тревожность, связанная с политическими событиями в мире и т.п. Пандемия, вызванная короновирусной инфекцией, существенно обострила ситуацию. По сообщениям средств массовой информации, во многих развитых странах, таких, как Китай, Дания, США и др., постоянно нагнетаемый тревожный фон и введение режима самоизоляции вызвали всплеск психических расстройств у населения.

Одним из способов повышения психологической устойчивости населения является использование музыкотерапии.

Использование музыки для улучшения психического и физического состояния человека и исцеления психических расстройств восходит к Древней Греции. Одним из первых на это обратил внимание греческий философ Пифагор, который считал, что прекрасные ритмы и песни излечивают человеческие нравы и страсти и устанавливают первоначальную гармонию душевных сил.

Самое раннее печатное упоминание о воздействии музыки на человека содержится в статье «Музыка в физическом отношении», опубликованной в 1789 году.

Однако терапевтическое использование музыкальных произведений началось в странах Западной Европы и США только в XX веке, после окончания Второй мировой войны, когда были созданы первые музыкально-психотерапевтические центры.

Музыкотерапия – это психотерапевтический метод, основанный на целительном воздействии музыки на психологическое состояние человека. Нервная система человека и его мускулатура способны чувствовать ритм. Музыкальный ритмический рисунок выступает как раздражитель, стимулируя физиологические процессы в организме. Музыка может гармонизировать ритмы отдельных органов человека, производя своеобразную настройку их частот. Она положительно влияет на память человека и способна гармонизировать подсознательные процессы.

В современной психотерапии выделяют три формы музыкотерапии – рецептивную, когда пациент выступает только в роли слушателя, активную, когда пациент играет на музыкальных инструментах или поет, и интегративную, включающую обе первые формы. Такая терапия подходит для людей всех возрастов, борющихся с болезнями или полностью здоровых.

Музыкальная терапия затрагивает различные аспекты умственной деятельности, тела, мозга и поведения. Музыка может отвлечь внимание, замедлить ритмы тела и изменить наше настроение, что, в свою очередь, может повлиять на поведение. Как известно, музыка многогранно влияет на наш мозг. Все аспекты музыки, включая высоту звука, темп и мелодию, обрабатываются разными отделами головного мозга. Например, мозжечок обрабатывает ритм, лобные доли декодируют эмоциональные сигналы, создаваемые музыкой, а небольшая часть правой височной доли помогает понять высоту звука. Прилежащее ядро может даже вызывать сильные физические признаки удовольствия, такие как мурашки по коже, когда мы слышим мощную музыку. Эти глубокие физические реакции организма на музыку можно использовать, чтобы помочь людям с психическими расстройствами.

Обученные и сертифицированные музыкальные терапевты работают в различных медицинских и образовательных учреждениях. Они часто работают с людьми, страдающими эмоциональными проблемами со здоровьем, такими как тревога и депрессия. Они также помогают людям в реабилитации после инсульта, черепно-мозговых травм или с хроническими заболеваниями, такими как деменция, болезни Паркинсона или Альцгеймера.

В отличие от большинства других методов психического и физического оздоровления, музыкотерапия допускает самолечение. Для его проведения достаточно иметь доступ к библиотекам музыкальных произведений, подобранных опытными специалистами с учетом состояния человека и его эстетических предпочтений. Для технической поддержки процесса предлагается создать web-сервис, основанный на технологии стриминговой передачи данных, который будет предоставлять подборки музыкальных композиций и помогать в борьбе с различными расстройствами. Кроме музыкотерапии, создаваемый сервис будет предоставлять подборки музыки для занятий спортом, прогулок, сопровождения медицинских процедур (например, массажа), медитации, караоке и т.п. Кроме того, он будет предоставлять лицензионную музыку различным заведениям, а также позволит музыкантам и ди-джеям делиться своими музыкальными произведениями и зарабатывать на этом.

Процесс терапии будет реализован через музыкальные подборки, которые будут предоставлены в создаваемом web-сервисе. В сервисе предлагается возможность выбора плейлистов исходя из потребностей и предпочтений пользователя, а также создание своих собственных.

Передача потоковых данных (англ. streaming) – услуга сети, которая позволяет передавать аудио- или видеоданные в непрерывном (потоковом) режиме. В качестве содержимого могут выступать программы телевизионных передач, музыка, видео, трансляции матчей и концертов, радиопередачи и т.п.

Многие web-ресурсы с целью обеспечения выполнения авторских прав не допускают скачивание видео- и аудиофайлов, а предлагают только просмотр и прослушивание их в потоковом режиме. При этом сам файл не сохраняется на пользовательской стороне и не может быть растиражирован. Однако для минимальных задержек во время просмотра (прослушивания) файла и сохранения его исходного качества при просмотре необходима достаточно высокая скорость передачи данных (обычно от нескольких сотен килобит в секунду до десятков мегабит в секунду).

Для организации услуги потоковой передачи данных оборудование абонента должно быть способно обрабатывать входящий поток данных (буферизировать и исправлять ошибки) и отправлять данные на медиа проигрыватель для воспроизведения. Благодаря буферизации удастся немного снизить проблемы с неравномерным поступлением пакетов на пользовательские устройства. Преимуществом потоковой передачи данных перед VoD (Video on demand) или скачиванием файла является отсутствие необходимости хранения данных. Благодаря этому, в мобильном устройстве не требуется большого объема памяти для хранения медиафайлов.

Сервер, который является источником данных, обычно размещается на площадке предоставляющего услуги оператора, либо в другой сети. Более того, поток может поступать из различных ресурсов интернета, например, облачных хранилищ. Провайдер облачных услуг (частный или публичный), предоставляет свою ИТ-инфраструктуру, которая обеспечивает надежное и безопасное управление нужными серверами для хранения данных. От сети оператора сотовой связи требуется лишь обеспечить передачу потока с заданным качеством. Для услуги стриминга в стандартах 3G и 4G изначально предусматриваются механизмы, не допускающие большие задержки и высокий процент потери данных.

За последние несколько лет в мировой музыкальной индустрии стриминг стал основным способом прослушивания легальной музыки. Стриминг музыки – это процесс прослушивания музыкального контента онлайн путём непрерывного получения и воспроизведения небольших частей музыкального файла. Суть стриминга музыки заключается в том, что слушатель не скачивает музыку себе на компьютер, телефон или другое устройство, а проигрывает её в режиме реального времени при помощи web-сайтов или отдельных программ на электронных устройствах практически любого вида.

Стриминговые или потоковые сервисы работают по принципу передачи контента от провайдера к пользователю. Весь контент будет храниться на облачном сервере, конечному пользователю не требуется ничего скачивать для просмотра или прослушивания.

В качестве примера музыкального стримингового сервиса можно привести самый популярный в мире музыкальный стриминговый сервис Spotify, значительно обгоняющий конкурентов по множеству показателей. Этот web-сервис – настоящая музыкальная соцсеть: здесь можно добавлять друзей, обмениваться сообщениями и комментировать музыкальные новости. Spotify по праву называют родоначальником всех стриминговых сервисов; его также выгодно отличает среди прочих наличие контрактов со всеми звукозаписывающими студиями, что даёт слушателям возможность найти на его просторах практически любую музыку. На данный момент в базе сервиса значатся более 785 миллионов треков, и их число постоянно растёт.

Во многих стриминговых сервисах реализованы алгоритмы персонализированного подбора треков. В создаваемом сервисе для музыкотерапии это будет способствовать тому, что пользователь будет автоматически получать музыкальные подборки, соответствующие его потребностям.

Один из алгоритмов – коллаборативная фильтрация. У двух пользователей есть предпочтения: первому нравятся треки A, B, C и D, а второй предпочитает композиции B, C, D и F. Коллаборативная фильтрация обрабатывает эту информацию следующим образом. Если вам обоим нравятся три трека – B, C и D, – это значит, что у вас схожие вкусы. Исходя из этого, вам вполне могут понравиться треки друг друга, которые вы до этого не слушали. После этого система предлагает второму собеседнику послушать трек A (он не упомянул эту песню, так как не слушал ее раньше, но трек есть в плейлисте первого пользователя). Первому предлагается послушать трек F ровно по той же причине. В реальном стриминговом сервисе данная матрица, – гигантская. Каждый горизонтальный ряд представляет одного из 140 миллионов пользователей (если вы один из них, вы в матрице). Каждый вертикальный ряд представляет одну из 30 миллионов песен в базе данных.

Стриминговые сервисы реализуют это благодаря математическим матрицам, выполненным в библиотеках.

Библиотека проходит через длинную сложную формулу. Когда библиотека заканчивает расчет, нам даются два вектора – X и Y. X – это пользовательский вектор, демонстрирующий вкус одного пользователя, а Y – песенный вектор, презентующий данные одной-единственной песни. Теперь у нас 140 миллионов пользовательских векторов и 30 миллионов песенных векторов. Содержание их – простой набор чисел, бесполезных сами по себе, но очень эффективных при сравнении.

Чтобы выяснить, с какими пользователями у вас больше всего совпадают вкусы, коллаборативная фильтрация сравнивает ваш вектор с векторами других пользователей, пытаясь найти самое большое количество совпадений. То же самое происходит с вектором Y, песнями: вы можете сравнить вектор одной песни с другими и найти наиболее схожие.

Обработка естественного языка – ещё один из алгоритмов. ОЕЯ – способность компьютера понимать человеческую речь. Это гигантское поле информации, которое проходит через «чувственную аналитику» API.

Любой стриминговый сервис «бродит» в сети и постоянно ищет посты, а также другие тексты о той или иной музыке. Это делается для того, чтобы понять, что и какими словами говорят люди о конкретном артисте или песне. Кроме того, сервис смотрит, какие ещё артисты и песни всплывают в таких описаниях. Каждый исполнитель и песня имеют тысячи особенностей, которые меняются ежедневно. Каждая особенность имеет определенную значимость, которая корректируется в соответствии с ее релевантностью – грубо говоря, вероятностью того, что кто-то опишет музыку или исполнителя этим словом. Подобно коллаборативной фильтрации, ОЕЯ-модель использует описания и их значимость для создания вектора, который представляет собой собрание всех данных о песне. Он и позволяет понять степень схожести двух и более треков.

Как любой полноценный стриминговый сервис, разрабатываемое приложение включает в себя web-версию, а также приложения для мобильных операционных систем Android и iOS. Базовая версия сервиса включает в себя только web-реализацию.

Базовая версия сервиса создается на языке программирования JavaScript, который поддерживает объектно-ориентированный, императивный и функциональный стили. Современный JavaScript – это «безопасный» язык программирования. Он не предоставляет низкоуровневый доступ к памяти или процессору, потому что изначально был создан для браузеров, не требующих этого. Возможности JavaScript сильно зависят от окружения, в котором он работает. Например, Node.JS поддерживает функции чтения/записи произвольных файлов, выполнения сетевых запросов и т.д. В браузере для JavaScript доступно всё, что связано с манипулированием веб-страницами, взаимодействием с пользователем и веб-сервером.

Клиентское приложение будет предоставлять возможность проводить музыкотерапию, выбирая из библиотеки композиций различные категории музыки, которые будут способствовать расслаблению и лечению. Контент транслируется в режиме реального времени. Для создания программного приложения на платформе iOS используется язык Swift и фреймворки Docker (для создания бэкенда и баз данных) и Kitura (веб-фреймворк для создания приложений на Swift). Для платформы Android – язык Java и ряд фреймворков. Фреймворк Spark позволяет быстро и без усилий строить бэкенд сайтов. Spark поддерживает практически все функции Java 8 и имеет выразительный API. JBehave – один из лучших фреймворков тестирования Java. Для реализации дизайна приложения будут использованы Adobe Photoshop и Figma.

Данные о треках и плейлистах будут храниться в реляционной базе данных. Реляционные базы данных основаны на реляционной модели – интуитивно понятном, наглядном табличном способе представления данных. Каждая строка, содержащая в таблице такой базы данных, представляет собой запись с уникальным идентификатором, который называют ключом. Столбцы таблицы имеют атрибуты данных, а каждая запись обычно содержит значение для каждого атрибута, что дает возможность легко устанавливать взаимосвязь между элементами данных. Для этого будет использована MySQL. MySQL – свободная реляционная система управления базами данных.

Итак, разрабатываемое приложение может стать удобным и востребованным сервисом для людей, нуждающихся в психологической помощи. Для его создания используются современные информационные технологии. В разработке сервиса участвует группа специалистов, включающая, кроме программистов, психолога и музыкального работника. Для тестирования системы будут привлечены студенты и преподаватели медицинского университета.

АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА КРИВЫХ ПЛАВЛЕНИЯ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

ALGORITHMS FOR RESULTS' CLUSTERING OF MELTING CURVES' ANALYSIS WITH HIGH RESOLUTION

Ю. И. Белькович^{1,2}, Е. В. Снытков^{1,2}, Б. А. Тонконогов^{1,2}

Y. I. Bel'kovich^{1,2}, E. V. Snitkov^{1,2}, B. A. Tonkonogov^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
boristonkonogov@iseu.by, lily.belkovich@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены основные принципы кластеризации данных, описаны этапы ее проведения и способы определения схожести объектов и интерпретации полученных результатов и дана характеристика различным способам проведения плавления ДНК.

Basic principles of data clustering are considered, stages of its implementation and methods to determine object similarity and result interpretation are described and characteristics of various conduct methods for DNA melting are given.

Ключевые слова: алгоритмы кластеризации, кривые плавления, высокое разрешение.

Keywords: clustering algorithms, melting curves, high resolution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-416-419>

Введение. Плавление с высоким разрешением (High Resolution Melting (HRM)) – это новый гомогенный метод пост-ПЦР (полимеразной цепной реакции) в закрытой пробирке, позволяющий исследователям геномов анализировать генетические вариации (однонуклеотидный полиморфизм (Single Nucleotide Polymorphism (SNP), мутации, метилирование) в ампликонах (фрагментах) ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты) и РНК (рибонуклеиновой кислоты). Он выходит за рамки классического анализа кривой плавления, позволяя изучать термическую денатурацию двухцепочечной ДНК гораздо более подробно и с гораздо более высоким информационным выходом, чем когда-либо прежде. Данные, полученные вследствие HRM-анализа, далее интерпретируются для получения генотипов исследованных образцов. Чтобы получить более достоверные результаты существует возможность прибегнуть к кластеризации полученных данных наряду с интерпретацией их с помощью специализированных пакетов программного обеспечения, разрабатываемых, как правило, производителями оборудования для HRM-анализа.

Производители амплификаторов для детектирования результатов ПЦР, как правило, разрабатывают оригинальное программное обеспечение для HRM-анализа, например:

- Precision Melt Analysis Software (Bio-Rad);
- High Resolution Melt Software (Applied Biosystems ThermoFisher Scientific);
- The LightCycler* 480 Gene Scanning Software (Roshe).

Имеются альтернативные варианты программного обеспечения с открытым исходным кодом, реализующего определенный алгоритм кластеризации и выполняющего схожие функции, например:

- Python-HRM;
- uAnalyze;
- Novalle HRM Analyzer.

В данный момент на базе учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ) ведется разработка программного обеспечения, реализующего несколько алгоритмов кластеризации, и позволяющего провести соответствующий анализ с помощью любого из них.

Алгоритмы кластеризации. Кластеризация (кластерный анализ) – задача группировки множества объектов на подмножества (кластеры) таким образом, чтобы объекты из одного кластера были более похожи друг на друга, чем на объекты из других кластеров по какому-либо критерию. Главное отличие кластеризации от классификации состоит в том, что перечень групп четко не задан и определяется в процессе работы алгоритма.

Типичный процесс кластеризации включает следующие этапы:

- 1) представление данных (количество классов, тип и масштаб функций, доступных для алгоритма кластеризации);
- 2) определение меры близости паттерна (шаблона) соответствующей предметной области;
- 3) кластеризация или группировка (может быть четкой (данные разделяются на группы) или нечеткой (каждый элемент имеет переменную степень принадлежности к каждому из выходных кластеров);
- 4) абстракция данных (при необходимости компактное описание каждого кластера обычно в терминах прототипов кластеров или репрезентативных шаблонов);
- 5) оценка результатов (при необходимости).

Все алгоритмы кластеризации при представлении данных будут создавать кластеры независимо от того, содержат ли эти кластеры данные или нет. Если кластеры содержат данные, то некоторые алгоритмы кластеризации могут получить «лучшие» кластеры, чем другие. Таким образом, оценка результатов процедуры кластеризации имеет несколько аспектов. Один из них – это оценка предметной области, но не самого алгоритма кластеризации. Данные, которые не содержат кластеров, не должны обрабатываться алгоритмом кластеризации. Анализ валидности кластеров, напротив, представляет собой оценку результатов процедуры кластеризации. Часто в этом анализе используется определенный критерий оптимальности, обычно определяющийся субъективно. Структура кластеризации действительна, если она не может возникнуть случайно или как артефакт алгоритма кластеризации. Когда используются статистические подходы к кластеризации, то анализ выполняется путем применения статистических методов и проверки гипотез.

Существует 3 типа валидационных исследований:

- 1) внешняя оценка достоверности – сравнивает восстановленную структуру с априорной структурой;
- 2) внутренняя проверка достоверности – определяет, действительно ли структура соответствует данным;
- 3) относительный тест – сравнивает две структуры и измеряет их относительные достоинства.

После получения и анализа результатов возможна корректировка выбранной метрики и метода кластеризации до получения оптимального результата.

Для определения «похожести» объектов нужно составить вектор характеристик для каждого объекта – как правило, это набор числовых значений, к примеру, рост или вес человека. Однако существуют также алгоритмы, которые работают и с качественными, так называемыми категориальными, характеристиками. После того, как определен вектор характеристик, проводится нормализация, чтобы все компоненты давали одинаковый вклад при расчете так называемого «расстояния». В процессе нормализации все значения приводятся к некоторому диапазону, например, $[-1, -1]$ или $[0, 1]$. Наконец, для каждой пары объектов измеряется «расстояние» между ними – степень похожести. Существует множество различных метрик, выбор которых полностью лежит на исследователе, поскольку результаты кластеризации могут существенно отличаться при использовании разных мер. Некоторыми из указанных метрик являются:

1. Евклидово расстояние. Самая распространенная функция расстояния, которая представляется геометрическим расстоянием в многомерном пространстве:

$$\rho(x, x') = \sqrt{\sum_i^n (x_i - x'_i)^2}. \quad (1)$$

2. Расстояние городских кварталов (манхэттенское расстояние). Это расстояние является средним разностей по координатам. В большинстве случаев эта мера расстояния приводит к таким же результатам, как и для обычного расстояния Евклида. Однако для этой меры влияние отдельных больших разностей (выбросов) уменьшается, так как они не возводятся в квадрат:

$$\rho(x, x') = \sum_i^n |x_i - x'_i|. \quad (2)$$

3. Расстояние Чебышева. Это расстояние может оказаться полезным, когда нужно определить два объекта как «различные», если они различаются по какой-либо одной координате:

$$\rho(x, x') = \max(|x_i - x'_i|). \quad (3)$$

4. Степенное расстояние. Применяется в случае, когда необходимо увеличить или уменьшить вес, относящийся к размерности, для которой соответствующие объекты сильно отличаются:

$$\rho(x, x') = \sqrt[r]{\sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^p}, \quad (4)$$

где r и p – параметры, определяемые пользователем. Параметр p ответственен за постепенное взвешивание разностей по отдельным координатам, а параметр r – за прогрессивное взвешивание больших расстояний между объектами. Если оба указанных параметра равны 2, то это расстояние совпадает с расстоянием Евклида.

Методы кластеризации классифицируются по:

1) способу обработки данных:

– иерархические:

- агломеративные (CURE, ROCK, CHAMELEON);
- дивизимные (BIRCH, MST);

– неиерархические методы:

- итеративные (к-средних, PAM, CLOPE, LargItem);

2) способу анализа данных:

– четкие;

– нечеткие.

3) количеству применений:

– одноэтапные;

– многоэтапные (рис. 1).

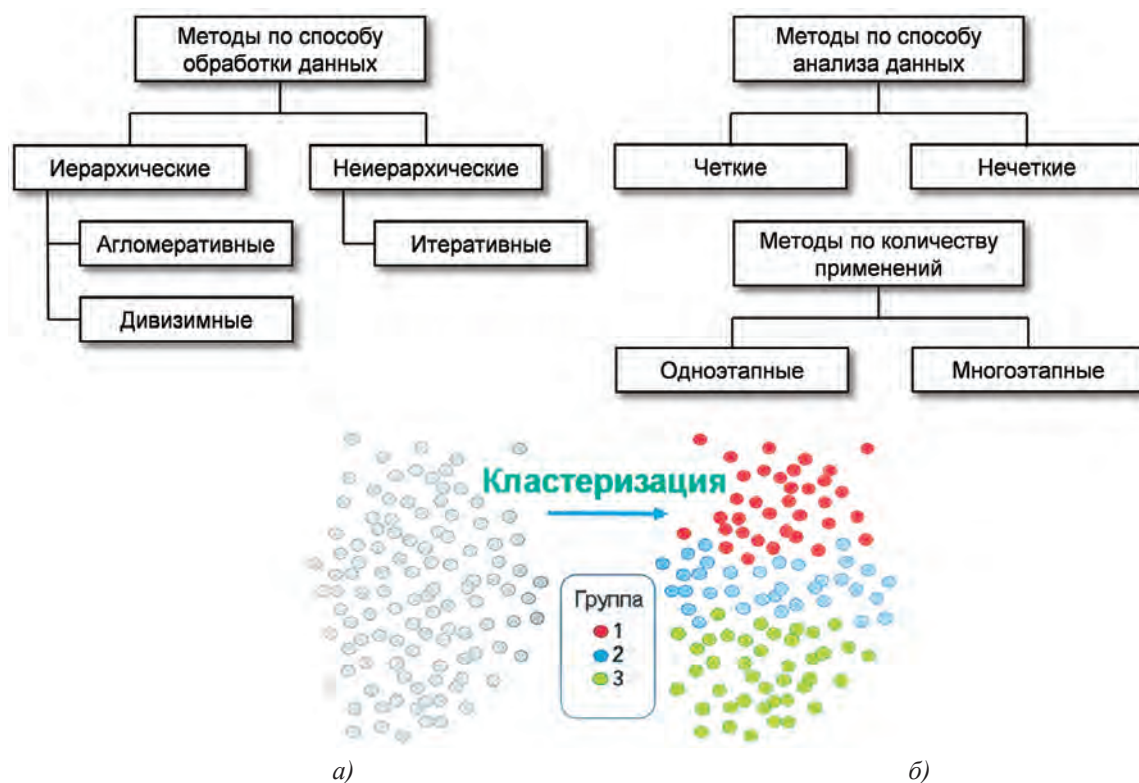


Рисунок 1 – Обобщенная классификация (а) и визуальная интерпретация (б) кластерных методов, характерные для большинства научно-исследовательских задач

В зависимости от используемых методов на выходе формируются соответствующие данные. Например, иерархические алгоритмы на выходе предоставляют некую иерархию кластеров, и можно выбрать любой уровень этой иерархии для того, чтобы интерпретировать результаты алгоритма. Неиерархические – это, фактически, все алгоритмы, которые на выходе иерархию не предоставляют (или выбор интерпретации происходит не по уровню иерархии).

Процесс плавления ДНК. Анализ кривой плавления представляет собой оценку характеристик диссоциации двухцепочечной ДНК при нагревании. При повышении температуры двойная нить начинает диссоциировать, что приводит к увеличению интенсивности поглощения и гиперхромности. Температура, при которой денатурируется 50 % ДНК, называется температурой плавления.

Собранная информация может быть использована для определения наличия и идентичности однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). Это связано с тем, что пары оснований GC имеют 3 водородные связи между собой,

в то время как пары оснований АТ имеют только 2. ДНК с более высоким содержанием GC из-за ее источника или из-за SNP будет иметь более высокую температуру плавления, чем ДНК с более высоким содержанием АТ.

Эта информация также дает важные сведения о способе взаимодействия молекулы с ДНК. Молекулы, такие как интеркаляторы, располагаются между парами оснований и взаимодействуют посредством укладки. Это оказывает стабилизирующее действие на структуру ДНК, что приводит к повышению температуры ее плавления. Точно так же увеличение концентрации солей помогает рассеять отрицательное отталкивание между фосфатами в остовах ДНК. Это также приводит к повышению температуры ее плавления. И наоборот, pH может оказывать негативное влияние на стабильность ДНК, что может привести к снижению ее температуры плавления.

Анализ кривой плавления имеет несколько ограничений. Абсолютное положение и ширина кривых плавления зависят от концентрации красителя, температуры и скорости перехода. Добавление интеркаляторов, таких, как бромид этидия, повышает температуру плавления и уширяет переход плавления.

Заключение. Таким образом, высокочувствительный анализ кривых плавления – это относительно новый метод анализа, позволяющий выявлять новые варианты генов, делать скрининг образцов ДНК на однонуклеотидные полиморфизмы, выявлять вставки и делеции и другие неизвестные мутации и определять процент метилированной ДНК в образцах. Однако при анализе гетерозиготных вариантов кривые плавления могут быть трудно различимы, поэтому в таких случаях для анализа используют другие графические зависимости, такие, как графики пиков плавления и сравнения кривых плавления.

Точность алгоритмов зависит от многих факторов, поэтому при анализе результатов кривых плавления не стоит полагаться лишь на один вариант детектирования. В рамках научных исследований в МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ ведется разработка программных модулей, реализующих некоторые алгоритмы кластеризации, и позволяющих с их помощью провести соответствующий анализ [1–3].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Jain, A. Data Clustering: A Review / A. Jain, M. Murty, P. Flynn // ACM Computing Surveys, 1999.31(3). P. 264–323.*
2. *Ririe, K. Product Differentiation by Analysis of DNA Melting Curves during the Polymerase Chain Reaction / K. Ririe, R. Rasmussen, C. Witter // Anal. Biochem. 1997.252(2). P. 857–859.*
3. *Wittwer, C. T. High-resolution DNA melting analysis: advancements and limitations / C. T. Witter // Human Mutation, 2009.30(6). P. 857–859.*

ПРОЕКТ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕЛКОВ В УСЛОВИЯХ СЛАБОГО СТРУКТУРНОГО ПОДОБИЯ SOFTWARE SYSTEM PROJECT FOR PROTEINS' INTERACTION ANALYSIS UNDER CONDITIONS OF WEAK STRUCTURAL SIMILARITY

А. Д. Казмерчук^{1,2}, Е. В. Снытков^{1,2}, Б. А. Тонконогов^{1,2}

A. D. Kazmerchuk^{1,2}, E. V. Snytkov^{1,2}, B. A. Tonkonogov^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

г. Минск, Республика Беларусь

antkaz566@gmail.com, evgeni.snytkov@iseu.by

¹Belarusian State University, BSU

Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU

Minsk, Republic of Belarus

Рассмотрены практическое назначение, алгоритм функционирования, архитектура, технологии и средства реализации, функциональность и тестирование проекта программной системы для анализа взаимодействия белков в условиях слабого структурного подобия, базирующейся на биоинформационных технологиях, реализующей расчетные методы и математические модели на различных вычислительных уровнях и позволяющей принимать исследовательские решения в различных областях биологии и медицины.

Practical purpose, functioning algorithm, architecture, technologies and means of implementation, functionality and testing of software system project for proteins' interaction analysis under conditions of weak structural similarity, based on bioinformatics technologies, implementing computational methods and mathematical models at

various computational levels and allowing making research decisions in various fields of biology and medicine are considered.

Ключевые слова: программная система, взаимодействие белков, структурное подобие.

Keywords: software system, proteins' interaction, structural similarity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-419-422>

Введение. Из-за большого количества видов белков (протеинов) в биологических системах и дорогостоящих экспериментальных решений, эффективное решение многокритериальной задачи докинга (метода молекулярного моделирования, позволяющего предсказать наиболее выгодную для образования устойчивого комплекса ориентацию и конформацию одной молекулы в сайте связывания другой) возможно только с применением информационных технологий и средств автоматизации, реализующих специальные расчетные методы и математические модели взаимодействия протеинов.

Белково-пептидные взаимодействия играют важную роль в различных биологических процессах, таких как передача сигналов, клеточная локализация и межклеточное взаимодействие, иммунная система, апоптоз и так далее. Фармакологические препараты, основанные на пептидах, могут быть использованы для предотвращения заболеваний, связанных со сбоями в работе белков из-за нежелательных межбелковых взаимодействий. Многие базы данных и алгоритмы были разработаны специально для использования в области терапии на основе пептидов. Существует более 200 терапевтических пептидов, одобренных Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (США), для лечения различных заболеваний.

Докинг позволяет идентифицировать новые соединения, представляющие терапевтический интерес, предсказывать взаимодействие лиганд-мишень на молекулярном уровне или определять взаимосвязь «структура-активность», не владея информацией априори о химической структуре других модуляторов-мишеней. Хотя изначально он был разработан, чтобы помочь понять механизмы молекулярного распознавания между малыми и большими молекулами, использование и применение докинга при разработке, например, лекарств сильно изменились за последние годы. Возможности молекулярного докинга при разработке лекарств хорошо известны. Тем не менее, стыковка имеет внутренние ограничения, которые снижают его производительность прогнозирования. Хотя докинг в основном использовался как самостоятельный метод для разработки лекарств, теперь он часто интегрируется в рабочие процессы, которые включают другие вычислительные методы, такие как подходы на основе лигандов и структур и искусственный интеллект (рис. 1).

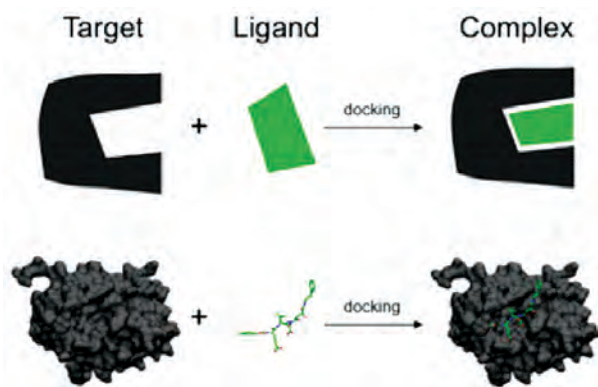


Рисунок 1 – Визуальная интерпретация процесса докинга

Подходы, основанные на структуре, такие как молекулярная динамика и оценка свободной энергии связывания, широко используются в сочетании с докингом для улучшения результатов виртуального скрининга. В частности, молекулярная динамика позволяет оценить гибкость остатков в целевом сайте связывания, а также исследовать более крупные конформационные изменения, потенциально доступные для данного белка. Следовательно, такой подход представляет собой эффективный инструмент для идентификации конформаций рецепторов для докинга и для оценки стабильности предсказанных комплексов. Возможности, предлагаемые молекулярной динамикой в перспективном скрининге *in silico*, особенно привлекательны для гибких мишеней с ограниченным числом зарегистрированных кристаллографических конформаций.

Более продвинутые и дорогостоящие в вычислительном отношении методы прогнозирования возмущения свободной энергии, термодинамического интегрирования и воронкообразной метадинамики также могут использоваться для молекулярного докинга и постобработки его результатов. Некоторые методы при прогнозировании сродства «лиганд-белок» требуют больших вычислительных ресурсов, поэтому потенциально менее подходят для скрининга больших библиотек соединений.

Совсем недавно подходы статистики и машинного обучения также закрепились в изучении лекарственных веществ. Фактически, эти методы позволяют легко использовать постоянно растущий источник информации,

содержащийся в общедоступных базах данных по структурам, химическим составам и биологическим активностям, что приводит к более точным прогнозам аффинности связывания. В частности, подходы машинного обучения, включая «случайный лес» и машины опорных векторов, применялись для улучшения прогнозов аффинности связывания на основе стыковки. Подходы машинного обучения также использовались для улучшения функций оценки докинга.

На основе анализа известных разработок в исследуемой предметной области, связанной с автоматизированной информационно-аналитической оценкой взаимодействия двух протеинов, предложен обобщенный подход к разработке методов анализа взаимодействия двух протеинов, включающий 3 стадии:

- 1) математическое описание анализируемых физико-химических процессов при взаимодействии двух протеинов;
- 2) проведение комплексного расчета начальной позиции взаимодействия двух протеинов, согласно некоторому гипотетическому допущению, при котором гипотеза может выходить за рамки доступных знаний о биохимической структуре протеинов;

- 3) уточнение результатов расчета значения энергетической функции взаимодействующего протеин-протеинового комплекса на основе некоторого метаэвристического метода, основанного на высокоуровневых проблемно-независимых алгоритмических структурах и избираемого некоторым осознанным или игровым способом с возможностью полного перебора всех доступных метаэвристик в пределах метаэвристического фреймворка.

Проект интегрированной информационной системы, предназначенной для проведения компьютерного анализа возможного взаимодействия двух протеинов в условиях слабого структурного подобия, создан на основании разработанных новых методов и специальных алгоритмов, программная реализация которых позволит обеспечить платформенно-независимый доступ к системе из различных вычислительных сред, включая как серверные вычислительные средства, так и встраиваемые системы и мобильные устройства.

В процессе создания указанной системы выполняются следующие виды работ:

- поиск и оценивание доступных гипотез о взаимодействии протеинов, включая метафорические гипотезы близкие по значению к понятию метаэвристик, то есть гипотез, которые научно не подтверждены, но, по крайней мере, не хуже, чем случайное начальное расположение протеинов для докинга согласно их информационной характеристике;

- создание расширяемого модуля с объединенным интерфейсом для аккомодации всех возможных типов гипотез, в том числе и неучтенных на текущий момент;

- поиск доступных для программной реализации метаэвристик в опубликованных информационных источниках, а также оценка их состоятельности;

- программная реализация метаэвристик как отдельно оформленных программных библиотек;

- разработка метаэвристической программной оболочки для аккомодации созданных метаэвристик;

- разработка архитектуры и алгоритмов работы программных модулей для компьютерной реализации информационной системы, включая интеграцию метаэвристической программной оболочки в финальную библиотеку, с учетом стандартизированных интерфейсов с целью бесперебойного функционирования программных модулей;

- выбор инструментальных средств разработки компонентов информационной системы, включающих в себя средства тестирования программного кода;

- реализация программных модулей информационной системы и создание консольного приложения или программной библиотеки, представляющей из себя ядро системы;

- в выполнение программного тестирования и апробации информационной системы.

Практическое назначение и алгоритм функционирования интегрированной информационной системы. Разрабатываемая интегрированная информационная система может быть апробирована и практически применена в интересах учреждений Министерства здравоохранения Республики Беларусь и Национальной академии наук Беларуси для поддержки принятия исследовательских решений в различных областях биологии и медицины, к примеру, дизайна лекарств, исследования протеинопатий и летальных губчатых энцефалопатий.

Алгоритм разрабатываемой системы базируется на двух понятиях: спекуляции и метаэвристическом фреймворке. Под спекуляцией в системе понимается расширяемая совокупность спекулятивных гипотез о природе взаимодействия протеинов (эволюционные спекуляции, гипотеза Анфинсена, гипотеза схожести вторичных структур и иные), которая генерирует за детерминированное время первоначальное взаимное расположение протеинов, которое может быть как неточным, так и сразу удовлетворить условию остановки, из-за чего алгоритм завершит работу.

Следует заметить, что спекулятивность гипотез подразумевает тот факт, что, несмотря на то, что в биологии существует достаточно недоказанных гипотез о взаимодействии протеинов, рассматриваемые гипотезы не обязаны быть строго биологическими, потому что проблема докинга протеинов по своей сути является комбинаторной проблемой, а значит, не имеет стандартного детерминированного решения. Это подтверждается, к примеру, описанными нарушениями гипотезы Анфинсена и гипотезами передачи прионных взаимодействий. Основным критерием алгоритма спекулятивной гипотезы, таким образом, является детерминированное время работы от-дельно взятой спекуляции.

Если условие остановки не достигнуто, то алгоритм запускает метаэвристический фреймворк, представляющий из себя расширяемое множество метаэвристик (высокоуровневых проблемно-независимых алгоритмических структур, предоставляющих набор рекомендаций или стратегий для разработки алгоритмов эвристической оптимизации), и случайным образом последовательно начинает применять метаэвристики из данного множе-

ства. Далее алгоритм остановится либо в случае достижения условия остановки, либо в случае перебора всех доступных метаэвристик, и в данном случае ответом является минимум энергии по множеству всех доступных метаэвристик.

По сравнению с алгоритмами оптимизации и итерационными методами, метаэвристики не гарантируют, что глобально оптимальное решение может быть найдено для некоторого класса проблем. Многие метаэвристики реализуют ту или иную форму стохастической оптимизации, так что найденное решение зависит от сгенерированного набора случайных величин. В комбинаторной оптимизации путем поиска по большому набору возможных решений метаэвристики часто могут найти хорошие решения с меньшими вычислительными затратами, чем алгоритмы оптимизации, итерационные методы или простые эвристики. По сути, они полезны для решения задач оптимизации и отвечают ряду требований:

- способны рассчитывать решения задачи, которые являются очень близкими к оптимальным;
- достаточно просты для понимания, дальнейшей поддержки программного кода, его отладки и доработки;
- могут достаточно быстро вычислять решения задач.

Условием остановки алгоритма является заранее заданный уровень энергии протеин-протеинового комплекса. Применимость данного алгоритма допускается следствием из «теоремы об отсутствии бесплатных обедов», утверждающее, что при наличии конкретной оптимизационной задачи существует, по крайней мере, одна метаэвристика, которая даст результат лучше, чем остальные.

Архитектура, технологии и средства реализации интегрированной информационной системы. Архитектура системы представляет собой совокупность следующих расширяемых программных слоев:

- 1) слой парсеров – набор адаптеров для определенных типов файлов, содержащих информацию о трехмерной структуре протеина;
- 2) слой парсеров экспериментального докинга – набор адаптеров для определенных типов экспериментальных баз данных докинга, формирующий на выходе объект обобщенной структуры;
- 3) слой обобщенной структуры – методы работы с объектом как абстракцией взаимодействия двух протеинов, инициализация которой производится либо из двух объектов, представляющих из себя протеины, либо из результата парсинга записи об экспериментальном докинге, и которая содержит в себе метод подбора, позволяющий оценить схожесть двух результатов докинга;
- 4) слой спекуляций – спекулятивные детерминированные методы, реализующие недоказанные предположения о природе докинга и оперирующие на обобщенных структурах;
- 5) слой метаэвристического фреймворка – метаэвристики, уточняющие результат докинга на выходе слоя спекуляций и оперирующие на обобщенных структурах.

Система целиком реализуется на языке JavaScript без применения сторонних библиотек, фреймворков и платформ. Система планируется быть совместимой с платформой Node.js, однако реализуется с учетом независимости от нее.

Закключение. Таким образом, задача протеин-протеинового докинга имеет важное значение для молекулярной биологии, физиологии и фармацевтики (разработки лекарств с определенными свойствами). На текущий момент все существующие серверы и алгоритмы докинга используют некоторую определенную широко известную метаэвристику и упрощение поверхности взаимодействующих протеинов, так как докинг является комбинаторной, а значит неполиномиальной задачей. В Республике Беларусь не имеется подобных собственных серверов. Авторами предлагается осуществить автоматизированный поиск поверхностей взаимодействующих протеинов, исходя из совокупности недоказанных научных гипотез о природе таких взаимодействий. Структурный докинг предлагается расширить до полноценного метаэвристического фреймворка вместо использования разрозненных метаэвристик [1–5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Siyavoush, D*, et al. Methods and Algorithms for Molecular Docking-based Drug Discovery / Tebriz University of Iran. Chapter 1. Molecular Docking at a Glance. – Penn.: IGI-Global, 2016.
2. H3ABioNet_Docking.pdf [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: https://training.h3abionet.org/IBT_2016/wp-content/uploads/2016/09/H3ABioNet_Docking.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
3. *Wang, Ch.* Improving Scoring-Docking-Screening Powers of Protein-Ligand Scoring Functions using Random Forest / Ch. Wang, Y. Zhang // J Comput Chem. – 2017. – Vol. 38 (3). – P. 169–177. doi: 10.1002/jcc.24667.
4. Protein-protein interaction databases - OpenWetWare [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: https://openwetware.org/wiki/Protein-protein_interaction_databases, свободный. – Загл. с экрана.
5. Atomic Coordinate Entry Format Version 3.3 [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: <http://www.wwpdb.org/documentation/file-format-content/format33/v3.3.html>, свободный. – Загл. с экрана.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ КУЛЬТУР КЛЕТОК НА ПРИСУТСТВИЕ В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ЦИТОКИНОВ Э. М. Плотникова, И. А. Нестерова, Р. Н. Низамов	7
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ГИДРОЛИЗАТОВ СЫВОРОТКИ МОЛОКА И МОЛОЗИВА С Г-ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ Е. И. Тарун, П. А. Виноградов, Д. А. Карабун, Т. Н. Головач, Р. В. Романович	10
ВЛИЯНИЕ ХЛОРИДА ЦИНКА НА ФИБРИЛЛООБРАЗОВАНИЕ ИНСУЛИНА В. В. Саган, Н. В. Богданова	14
ДИАГНОСТИКА КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ ИММУНОФЕРМЕНТНЫМ АНАЛИЗОМ П. С. Харитон, Е. Е. Тарасова, Н. С. Харитон	18
ВРОЖДЕННЫЕ ПОРОКИ СТРОГО УЧЕТА У ДЕТЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ Н. В. Кокорина, А. А. Ершова-Павлова, А. Г. Яцков	21
РЕГУЛЯТОРНАЯ РОЛЬ ИНТЕРЛЕЙКИНОВ-4,5 И 6 В РАЗВИТИИ ГЛОМЕРУЛОНЕФРИТА Р АЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ Х. Таджибаева, Т. Р. Романовская	24
ОТКРЫТЫЙ АРТЕРИАЛЬНЫЙ ПРОТОК У НОВОРОЖДЁННЫХ Н. Кокорина, А. Ершова-Павлова, Е. Железная	28
АНТИРЕТРОВИРУСНЫЕ ПРЕПАРАТЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИНГИБИТОРЫ SARS-COV-2 M ^{PRO} А. П. Сидорова, А. В. Бакунович	31
АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ НАРУШЕНИЙ И ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНА ЗРЕНИЯ СРЕДИ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ Г. МОГИЛЁВА Н. Е. Порада, Д. Д. Ласевич	34
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ПРИЧИН СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В 2010–2019 ГГ. Н. Е. Порада, А. С. Боброва	38
ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЭКСПРЕССИИ ERCC1, TP, TS, ПРИ КОЛОРЕКТАЛЬНОМ РАКЕ М. С. Оев, Е. М. Шпадарук, Р. М. Смолякова	41
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ БОЛЕЗНЯМИ ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ Д. А. Рогова, М. А. Дубина	45
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ Г. БЫХОВА В. С. Папруга, М. А. Дубина	48
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ТАБАКОКУРЕНИЯ В МОЛОДЕЖНОЙ СРЕДЕ А. К. Корбан, М. А. Дубина	51
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ БРАСЛАВСКОГО РАЙОНА (2015–2019 ГГ.) В. В. Станюль, М. А. Дубина	55

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ БОЛЕЗНЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ О. Н. Суша, В. Д. Свирид	58
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КРУПНОГО РАЙОНА БОЛЕЗНЯМИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ Х. В. Драгун, Е. П. Живицкая	61
АРТЕРИАЛЬНАЯ ГИПЕРТЕНЗИЯ НА ФОНЕ ПЕРЕНЕСЕННОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ Т. Пилюшина, А. Бакунович	64
ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА $\gamma\delta$ T-ЛИМФОЦИТОВ У ПАЦИЕНТОВ С ВОСПАЛИТЕЛЬНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ КИШЕЧНИКА Д. Цеханович, А. Старостин, О. Дыбов, Д. Нижегородова	68
ОСОБЕННОСТИ КАЧЕСТВА И РЕЖИМА СНА У СТУДЕНТОВ С ПРИЗНАКАМИ НАРУШЕНИЯ ФУНКЦИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ Е. Н. Будкова, М. В. Лобанова, Е. А. Гюнерич	72
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛЕГУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ Е. В. Дроздова, И. А. Просвирякова, Т. З. Суровец, А. В. Фираго, Н.А. Долгина, Н. В. Буневич	77
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА, ФОРМИРУЕМАЯ ИСТОЧНИКАМИ ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ 50 ГЦ В Г. МИНСКЕ Т. В. Захаренко, И. В. Соловьева, И. В. Арбузов, А. Ю. Баслык, А. В. Кравцов	81
НЕКОТОРЫЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ И. В. Соловьева, А. В. Кравцов, И. В. Арбузов, А. Ю. Баслык, Т. В. Захаренко	84
ОЦЕНКА РЕАКТИВНОСТИ ОРГАНИЗМА В ХОДЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ У ПАЦИЕНТОВ С ТУБЕРКУЛЕЗОМ ПО КЛЕТОЧНЫМ И БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КРОВИ А. А. Мазурова, Е. М. Шпадарук	87
ЗАВИСИМОСТЬ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВИРУСНЫМ ИММУНОДЕФИЦИТОМ И ВИРУСНОЙ ЛЕЙКЕМИИ КОШЕК ОТ ПОЛА Н. Стати, Я. Мельникова	91
ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ НА ИММУНОМОДУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК А. В. Свирская, М. А. Яковлева, Д. Б. Нижегородова, М. М. Зафранская	94
ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛЕТОЧНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ГОМЕОСТАЗА НА ПРОВЕДЕНИЕ ТЕРАПИИ У ПАЦИЕНТОВ С ИНСУЛЬТОМ А. А. Криштопенко, Е. М. Шпадарук, Р. М. Смолякова	97
ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОЯДЕР В БУККАЛЬНОМ ЭПИТЕЛИИ КУРЯЩИХ ЛЮДЕЙ А. А. Савицкий, Ю. В. Малиновская	101
ОБЗОР СВОЙСТВ БАКТЕРИОФАГОВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФАГОТЕРАПИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ Я. Ю. Богуш, Н. В. Иконникова	104
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ COVID-19 НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ А. А. Шляхтичева, Е. П. Живицкая, А. Г. Сыса	107

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗМА У БЕРЕМЕННЫХ И ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА БЕЛАРУСИ ПРИ АУТОИММУННОМ ТИРОИДИТЕ С. В. Петренко, Ю. В. Жильцова, А. Сейтмедова, А. Б. Джунелов, Т. С. Опанасенко, С. В. Лаптенко	110
АЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ЖИТЕЛЕЙ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА ГОРОДНАЯ СТОЛИНСКОГО Р-НА БРЕСТСКОЙ ОБЛ., ПОСТРАДАВШЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС Е. А. Печуро, В. А. Кравченко, А. Н. Батян, С. В. Петренко	114
МАРКЕРЫ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В КРОВИ ЖЕНЩИН В ПЕРИОД ПРЕ- И ПОСТМЕНОПАУЗЫ В. Климович, В. М. Писарик	118
СОСТОЯНИЕ ТИРОИДНОЙ СИСТЕМЫ У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА И БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН ОСТРОВЕЦКОГО РАЙОНА ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ С. В. Петренко, Ю. В. Жильцова, А. Н. Батян, Е. А. Рафальская, Т. С. Опанасенко, В. Ч. Можейко, Х. Арнепесова, М. С. Петренко	122
ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ ВЕЗИКУЛЫ КАК МЕХАНИЗМ МЕЖКЛЕТОЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ В ПАТОФИЗИОЛОГИИ ОПУХОЛЕЙ Е. С. Жартун, Д. Б. Нижегородова	125
ИММУНОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕПОЛНОРАЗМЕРНЫХ АНТИТЕЛ К ФЕРРИТИНУ Б. А. Музыченко, Я. И. Мельникова	128
 РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ	
DETERMINATION OF SELENIUM IN CHICKEN AND EGGS USING MICROWAVE DIGESTION AND HYDRIDE GENERATION ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY B. Kurt, A. Demirak, D. Yıldız	135
МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ МЕЛКИХ ГРЫЗУНОВ, НАСЕЛЯЮЩИХ БЕРЕГА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ НА ПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В. В. Шималов	137
ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ НА СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ ДИКЕТОНОВ И ТРИКЕТОНОВ В РАСТВОРАХ А. Н. Пырко, С. Л. Бондарев, Т. Ф. Райченко, А. С. Пилипович	141
АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА БЕНЗОЛОМ, ТОЛУОЛОМ И КСИЛОЛОМ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ А. М. Людчик, Е. А. Мельник, П. Н. Павленко, А. О. Сычевский	145
ПРОБЛЕМЫ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН В. И. Залесова, Е. С. Лён	148
ЦЕНОТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ ИНВАЗИВНОГО ВИДА HERACLEUM SOSNOWSKYI MANDEN. НА ТЕРРИТОРИИ ДЗЕРЖИНСКОГО РАЙОНА И. Д. Климович, Л. А. Худякова	151
АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА ОКСИДОМ УГЛЕРОДА И ОКСИДАМИ АЗОТА В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ А. М. Людчик, Е. А. Мельник, П. Н. Павленко	155

МРАМОРНЫЙ РАК <i>PROCAMBARUS FALLAX</i> КАК ИНВАЗИВНЫЙ ВИД В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ Н. В. Сакун, О. А. Бодиловская	158
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ КАК НОВОГО ПРИЕМА В ОЗДОРОВЛЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УЧАЩИХСЯ А. Г. Чернецкая, Н. П. Стригельская, Е. В. Алексейчик, Т. В. Скрунда	161
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ФИТОИНДИКАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ Е. Г. Бусько, Е. В. Акшевская	165
СОСТОЯНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СОХРАНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИИ <i>POTENTILLA RUPESTRIS</i> L. Т. В. Юнкевич, А. Г. Чернецкая	169
ВЫРАЖЕННОСТЬ АНТРОПОГЕННОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ, ФЕНЕТИЧЕСКИМ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ВИДОВ-БИОИНДИКАТОРОВ Т. П. Сергеева, О. В. Лозинская, Е. Г. Смирнова, Е. Т. Титова	173
ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКОЛОГИИ ГОРОДА НА ЗАНЯТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ В. Д. Дузинчук, А. Я. Карчмит, С. В. Аксенчик	177
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ <i>ALDROVANDA VESICULOSA</i> В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ Л. А. Кириченко, А. А. Волчек	180
ОЦЕНКА ПРИРОДООХРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА БЫСТРОРАСТУЩИХ ДРЕВЕСНЫХ КУЛЬТУР В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В. Н. Копица, О. И. Родькин	183
ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В Г. МИНСКЕ ЗА ПЕРИОД 2020–2021 ГГ. ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ Т. В. Шлендер, Е. А. Чумаков, А. О. Сычевский, Е. А. Прокопчик, М. А. Крупская	186
ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ <i>LEMNA MINOR</i> L. К ГИПЕРАККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ Ю. В. Жильцова, Б. Б. Меликов, А. В. Васильева	190
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРАСОЧНОГО ПОЛИМОРФИЗМА СИНАНТРОПНОГО СИЗОГО ГОЛУБЯ (<i>COLUMBA LIVIA</i> L.) В Г. МИНСКЕ И. М. Хандогий	193
БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЭКОЛОГИЯ ПТИЦ ПАРКОВЫХ ЗОН Г. МИНСКА А. В. Хандогий, Е. К. Свистун, И. В. Губич, В. В. Гнилозуб, Н. А. Анищенко, А. Д. Петкевич, А. А. Неверко, М. П. Шачонок, А. А. Грачок, И. Д. Василевский, П. А. Требеко, Д. И. Запотьлок, М. А. Богачева	197
ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ СОРОКИ (<i>PICA PICA</i> L.) И ЕЕ МЕСТО В СТРУКТУРЕ НАСЕЛЕНИЯ ВРАНОВЫХ ПТИЦ Г. МИНСКА А. В. Хандогий, А. А. Зезюлькина, М. А. Богачева, Н. М. Лещинская, Е. А. Борисенко, Е. А. Гюнерич, А. А. Сорока, А. А. Грачок	201
ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМОННЫХ НАНОЧАСТИЦ ГИБРИДНЫХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ А. А. Щербович, В. А. Люшкевич, Н. А. Савастенко, И. И. Филатова, С. А. Маскевич	205
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ САНАЦИИ ПРИ УГЛЕВОДОРОДНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ А. Д. Селезнёва, К. М. Мукина	208

Ya. S. Shavalda	212

ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. Л. Никитин, Е. М. Хаджинов	217

МАЛАЯ ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

О. Э. Муратов	219

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ ПО ДЫХАНИЮ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Я. Э. Ермольчик, Т. С. Чикова, Е. В. Емельяненко, М. Н. Петкевич	223

ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ПЛАНОВ ОБЛУЧЕНИЯ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С МОДУЛЯЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

А. И. Бринкевич, Т. С. Чикова, М. Н. Петкевич	226

МАТРИЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

И. Н. Чиркова, М. Н. Петкевич, Т. С. Чикова	230

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АБСОЛЮТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ

М. Н. Петкевич, И. Н. Чиркова, Т. С. Чикова	233

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОНПРОИЗВОДЯЩИХ МИШЕНЕЙ И УРАН-СВИНЦОВОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

В. В. Кутас, А. И. Киевицкая	237

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИЙ ИСКЛЮЧЕНИЯ, ИЗЪЯТИЯ И ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ КОНТРОЛЯ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е. Л. Никитин, Н. Н. Тушин	240

РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ В РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ ПЕРСОНАЛА НА ПРИМЕРЕ ОПЫТА ЗАРУБЕЖНЫХ АЭС

В. В. Кутас, Н. Н. Тушин	244

ДЕТЕКТОРЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ЭФФЕКТЕ УПРУГОГО КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ АНТИНЕЙТРИНО НА ЯДРАХ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

О. М. Бояркин, А. А. Бudyко	248

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ПОЛЯ И ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА МАЛЫХ ПОЛЕЙ

В. С. Пискунов, С. В. Семёнов, Т. С. Чикова.....	251

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НИФХИ ИМ. Л. Я. КАРПОВА В 2020 ГОДУ

Я. В. Непогодина, А. А. Удалова	254

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕДУР РАДОНОТЕРАПИИ

А. С. Невдах, Т. В. Дашкевич.....	258

РАДИАЦИОННАЯ СИТУАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНЫХ СКЛОНОВ ТУРКЕСТАНСКОГО ХРЕБТА У. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Б. Д. Бобоев, Е. Ю. Малышева.....	261
РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ В. В. Кляус, Е. В. Николаенко.....	265
ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОТОКОЛА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПЭТ ИЗОБРАЖЕНИЯ Е. В. Емельяненко, К. В. Поддубный	268

ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ, ОТХОДЫ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ЖИДКОСТЯМИ И НЕФТЬЮ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) М. В. Носова, В. П. Середина	275
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ЛУПИНГЕ С. В. Артемчук, Е. П. Черевань	278
СИНТЕЗ И ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ZNO ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ А. В. Медведский, А. А. Щербович, И. И. Филатова, В. А. Люшкевич, Н. А. Савастенко, С. А. Маскевич	281
РЕАЛИЗАЦИЯ СТОКГОЛЬМСКОЙ КОНВЕНЦИИ ПО СТОЙКИМ ОРГАНИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В. Д. Дузинчук, С. Е. Головатый	285
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЪЕДОБНЫЕ УПАКОВОЧНЫЕ ПЛЕНКИ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ А. П. Леонтьев, Т. А. Савицкая, И. М. Кимленко, С. Е. Макаревич, Д. Д. Гриншпан.....	289
МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЪЗУЕМЫЕ В КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В. И. Красовский, А. А. Будько.....	292
ВНЕДРЕНИЕ ПРИНЦИПОВ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ “ЗЕЛЁНОЙ” ЭКОНОМИКИ В БЕЛАРУСИ К. М. Мукина, Н. С. Смашный	295
ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ Г. Н. Ярыгина.....	298
ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ КАК ОСНОВА ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ СВОЙСТВАХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ И СПОСОБАХ БЕЗОПАСНОГО ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ Н. Н. Табелева, И. И. Ильюкова, Т. Н. Гомолко, С. Ю. Петрова, С. Н. Камлюк	301
ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОАКТИВНОГО МЕЗОПОРИСТОГО УГЛЯ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ А. В. Мамаев, Д. Д. Гриншпан, Н. Г. Цыганкова, Т. А. Савицкая	304

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ВОДНЫХ СРЕДАХ В ПРИСУТСТВИИ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ TiO_2 А. В. Медведский, Н. А. Савастенко, С. А. Маскевич, И. И. Филатова, М. Т. Габдуллин, Т. С. Рамазанов, Х. А. Абдуллин, Ж. К. Калкозова	308
АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВБЛИЗИ ЗАКРЫТОГО ПОЛИГОНА КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ А. Д. Никитич, В. М. Мисюченко	311
АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ Л. А. Липницкий, П. К. Шалькевич, П. А. Рыбак	315
ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ЦВЕТОВ Л. А. Липницкий, Д. А. Игнатовский, И. А. Дубаневич	318
ИЗУЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ СОЛЮБИЛИЗАЦИИ БУРОГО УГЛЯ А. Э. Юницкий, И. Е. Лобазова, С. Н. Зыль, И. В. Налетов, В. С. Заяц	322
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ А. Э. Юницкий, В. В. Янчук	325
СНИЖЕНИЕ ПОТОКОВ ОСНОВНЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В РАМКАХ ТРАНСПОРТНО-ИНФРАСТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ UST А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский, Н. С. Зыль, И. В. Налётов, А. М. Павлюченко	328
УТИЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В. В. Плесканев, Е. В. Яблонский, Д. С. Мишлаков, П. К. Шалькевич	332
ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИКА И ЕГО АЛЬТЕРНАТИВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ Е. В. Шевцова, П. К. Шалькевич, Л. А. Липницкий	335
ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В. И. Красовский, В. И. Бразинский	338
 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	
ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА МОНИТОРНЫХ ЕДИНИЦ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПЛАНА ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА М. Н. Петкевич, В. Ю. Юшкевич	345
ВЛИЯНИЕ ИСКАЖЕНИЙ МР-ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КАЧЕСТВО РЕАЛИЗАЦИИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ РАДИОХИРГИИ И. А. Штуро, М. Н. Петкевич	348
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ, СТРАДАЮЩИХ РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ М. В. Калевич, М. Н. Петкевич	352
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК В ЗОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В. В. Журавков, О. А. Антонович	356

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. ОРШИ И ОРШАНСКОГО РАЙОНА В. В. Журавков, Б. А. Тонконогов, П. К. Шалькевич	360
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНОВАЦИОННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ Г. ОРША В. В. Жураков, Н. Д. Урбанович	363
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ РАБОТЫ С ЗАПРОСАМИ НА ПЕРЕВОД ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПРОЕКТА КОМПАНИИ «NEXTSOFT» А. Л. Карпей, К. С. Кохно	367
QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF 2,4-DI-TERT-BUTYL-6-MORPHOLINOPHENOL COMPOUND Sun Yuqi , Siyamak Shahab, Liu Yu, L. Padabed	370
QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF N-(3,5-DI-TERT-BUTYL-2-HYDROXYPHENYL) BENZENE SULFONAMIDE Liu Yu, Siyamak Shahab, Sun Yuqi, A. Labanova	373
QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF THE N-(3,5-DI-TERT-BUTYL-2-HYDROXYPHENYL) METHANESULFONAMIDE COMPOUNDS WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY Yuan Xue, Siyamak Shahab, Liu Zhenyu, L. Padabed	376
QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF 2,4-DI-TERT-BUTYL-6-(P-TOLYLAMINO) PHENOL Zhang Yan, Siyamak Shahab, Sun Peiming, A. Labanava.....	378
QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF THE N-(2-HYDROXY-3,5-DIISOPROPYLPHENYL) METHANESULFONAMIDE Li Xiao , Siyamak Shahab, A. Labanava	381
QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF THE N-(3,5-DI-TERT-BUTYL-2-HYDROXYPHENYL)-4-METHYLBENZENESULFONAMIDE WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY Sun Peiming, Siyamak Shahab, Zhang Yan, A. Labanava.....	383
QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF N-(5-(TERT-BUTYL)-2-HYDROXYPHENYL) METHANESULFONAMIDE WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY Liu Zhenyu, Siyamak Shahab, Yuan Xue, A. Labanava	386
ПРОГРАММА ЕЖЕДНЕВНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ГАРАНТИИ КАЧЕСТВА НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ Г. В. Бельков, А. И. Бринкевич	388
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДНЫХ ХАЛКОНОВ М. А. Атрошко, С. Н. Шахаб, В. А. Тарасевич, Д. С. Мартинкевич, Н. В. Богданова, Ван Хуэй	391
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДНЫХ БИОГЕННЫХ КИСЛОТ М. А. Атрошко, С. Н. Шахаб, Е. Г. Каранкевич, Н. В. Богданова, З. И. Куваева, Ян Шу	394
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПИРИМИДИНОВЫХ ОСНОВАНИЙ М. А. Атрошко, С. Н. Шахаб, Ж. В. Игнатович, Н. В. Богданова, Ян Шу, Ван Хуэй	396
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И. В. Лефанова, Т. В. Смирнова	399

QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION OF N-(2-HYDROXY-3,5-DIISOPROPYLPHENY) BENZENE
SULFONAMIDE COMPOUND

Zhang Zhibo, Siyamak Shahab, A. Labanava 403

СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И СОЗДАНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ УПРАВЛЕНИЯ
В ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

С. В. Ткаченко, Т. В. Смирнова 405

ЛОКАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ Г. МИНСКА

Т. В. Шлендер, М. В. Бируков, Е. А. Ярош, Е. А. Прокопчик, Н. В. Жуковская 409

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕАНСОВ МУЗЫКОТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ СТРИММИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В. А. Иванюкович, А. С. Тихончик 413

АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА КРИВЫХ ПЛАВЛЕНИЯ С ВЫСОКИМ
РАЗРЕШЕНИЕМ

Ю. И. Белькович, Е. В. Снытков, Б. А. Тонконогов 416

ПРОЕКТ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕЛКОВ В УСЛОВИЯХ
СЛАБОГО СТРУКТУРНОГО ПОДОБИЯ

А. Д. Казмерчук, Е. В. Снытков, Б. А. Тонконогов 419

Научное издание

**«САХАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2022 ГОДА:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ XXI ВЕКА**

**SAKHAROV READINGS 2022:
ENVIRONMENTAL PROBLEMS
OF THE XXI CENTURY**

Материалы 22-й Международной научной конференции

19–20 мая 2022 г.
г. Минск, Республика Беларусь

В двух частях
Часть 2

В авторской редакции
Компьютерная верстка М. Ю. Мошкова
Дизайн обложки: иллюстрация «Астролог» из второго тома трактата Роберта Флудда
«О космическом двуединстве» (Франкфурт, 1619 год)

Подписано в печать 04.05.22. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Times. Усл. печ. л. 50,2.
Тираж 50 экз. Заказ **133.**

Республиканское унитарное предприятие
"Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь".
Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий №1/161 от 27.01.2014, №2/41 от 29.01.2014.
ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск