



БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЭКОЛОГИЯ

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

ECOLOGY

Издается с сентября 2017 г.
(до 2017 г. – «Экологический вестник»)
Выходит 1 раз в квартал

Published since September, 2017
(until 2017 – «Ecologicheskij Vestnik»)
Issued once a quarter

4

2017

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор** **МАСКЕВИЧ С. А.** – доктор физико-математических наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
E-mail: direktor@iseu.by
- Заместитель главного редактора** **ПОЗНЯК С. С.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Батян А. Н.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Герменчук М. Г.** ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», Минск, Беларусь.
- Голубев А. П.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Головатый С. Е.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Гричик В. В.** Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Дардынская И. В.** Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
- Зафранская М. М.** Белорусский государственный университет, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь.
- Кильчевский А. В.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Ленгфельдер Э.** Радиологический институт здоровья и окружающей среды имени Отто Хуга, Мюнхен, Германия.
- Либератос Г.** Афинский технический университет, Афины, Греция.
- Логинов В. Ф.** Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Медведев С. В.** ГНУ «Объединенный институт проблем информатики» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.
- Степанов С. А.** Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия.
- Стожаров А. Н.** Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь.
- Тарутин И. Г.** ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова», Минск, Беларусь.
- Шишко Я.** Министерство окружающей среды Республики Польша, Варшава, Польша.

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **MASKEVICH S. A.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
E-mail: direktor@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **POZNYAK S. S.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
E-mail: pazniak@iseu.by
- Batyan A. N.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Hermenchuk M. G.** Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Pollution and Environmental Monitoring, Minsk, Belarus.
- Golubev A. P.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Golovaty S. E.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Grichik V. V.** Belarusian State University, Minsk, Belarus
- Dardynskaya I. V.** World Health Center «Great Lakes», Chicago, USA.
- Zafranskaya M. M.** Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus.
- Kilchevsky A. V.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Lengfelder E.** Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munchen, Germany.
- Lyberatos G.** Athens Technical University, Athens, Greece.
- Loginov V. F.** National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Medvedev S. V.** The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Stepanov S. A.** International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
- Stozharov A. N.** Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
- Tarutin I. G.** N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.
- Szyszko J.** Ministry of the Environment of the Republic of Poland, Warsaw, Poland

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 372.8

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ГЕРМАНИИ

*Н. Н. ТАЛЕЦКАЯ*¹⁾

¹⁾*Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

В исследовании представлены особенности и подходы профессиональной подготовки будущих учителей в системе высшего образования для устойчивого развития в Германии. Анализ научной литературы позволяет утверждать, что система высшего образования в Германии имеет характерную для нее структуру и содержание обучения. Она направлена на повышение качества работы учителя и образовательный уровень молодежи. Представленный опыт будет полезен многим учреждениям образования Республики Беларусь.

Ключевые слова: образовательная политика Германии; система высшего образования; подготовка учителей; педагогический мониторинг; экологическое образование для устойчивого развития; научные исследования.

Образец цитирования:

Талецкая Н. Н. Профессиональная подготовка будущих учителей в системе высшего образования для устойчивого развития в Германии // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 4–10.

For citation:

Taletskaya N. N. Professional training of future teachers in higher education for sustainable development in Germany. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 4–10 (in Russ.).

Автор:

Наталья Николаевна Талецкая – старший преподаватель кафедры лингвистических наук и межкультурных коммуникаций.

Author:

Natalia. N. Naletskaya, teacher of the department of linguistic sciences and intercultural communication.
Taletskaya_16@rambler.ru

PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE TEACHERS IN HIGHER EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN GERMANY

N. N. TALETSKAYA^a

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

The article presents the special aspects and approaches of the university training of future teachers in Germany, moreover proposed steps to improve their training in modern conditions. Analysis of the scientific literature allows to assert that the system of higher education in Germany differs in structure and content of education. In turn, it affects the improvement of quality of the teacher's work and the educational level of young people. The presented experience will be useful for many educational institutions of the Republic of Belarus.

Key words: educational policy in Germany; system of higher education; training of future teachers; ecological education for sustainable development.

Введение

За последние годы на глобальном уровне возникла потребность в совершенно иной подготовке компетентных педагогических кадров, отличающихся другими ценностями, критическим и рефлексивным мышлением, с научным мировоззрением и творческим подходом к своей профессии. Реформа высшего образования в интересах устойчивого развития является главной задачей многих стран. Однако, несмотря на существенный рост объемов финансирования и масштабные усилия по реформированию, реализация и внедрение идей устойчивого развития в систему высшего образования осуществляется в некоторых странах быстрее других. В свою очередь качество образования в остальных повышается незначительно [1]. Анализ научной литературы позволяет утверждать, что в существующих системах подготовки педагогических кадров есть ряд проблем, которые нужно и можно решить [2].

Германия является одной из ведущих стран мира по разработке стратегий и тактики развития образования для устойчивого развития, по внедрению в педагогическую практику новейших образовательных технологий и методик. На базе международных документов Правительством Федеративной Республики Германии (ФРГ) были доработаны действующие нормативные документы и созданы основополагающие: «Национальная стратегия устойчивого развития» с рекомендациями, направленными на углубление понимания идей устойчивого развития, распространение, реализацию и оценку качества образования для устойчивого развития; Национальный план действий «За справедливую к детям Германию»; официальные документы общегосударственного уровня и значения – «Стандарты Конференции министров культур ФРГ»; Национальные проекты «Основы бизнеса в школе», «Мыслить глобально – действовать локально»; Национальные программы «Найти путь, стать успешным», «Зеленые школы» и др. [7, с. 112].

Результаты исследования и их обсуждение

Система управления образованием. Децентрализация государственных служб в ФРГ предусматривает передачу полномочий местным органам управления и является основной чертой реформы управления во всем мире. Правительство страны обладает ограниченной законодательной и финансовой компетенцией, но имеет право оказывать существенное влияние на развитие и планирование образования при решении важных задач общегосударственного значения. В каждой из 16 земель ФРГ действуют свои собственные положения о подготовке будущих педагогов в системе университетского образования [7, с. 110].

В настоящее время обучение будущих учителей ориентируется на общегерманские стандарты педагогического образования, согласованные и принятые в 2004 г. на Конференции Министров образования земель. Каждая земля в ФРГ оформляет их в виде закона о педагогическом образовании. Данные законы включают в себя цели обучения и воспитания, требования к системе подготовки и к компетенциям будущего учителя.

Система подготовки педагогических кадров в ФРГ. Обучение профессии учителя в Германии начинается уже со школьной скамьи в рамках профориентации. Для учащихся на базе университетов регулярно проводятся специальные семинары с включением в программу ряда упражнений, максимально раскрывающие их способности и интересы. На занятиях такого формата они постигают нюансы

педагогической деятельности, особенности типов школ, цели, задачи, их программное обеспечение [3, с. 96]. Родителям и школьникам предоставляется возможность сделать осознанный выбор в пользу профессии учителя.

Необходимо выделить важное обстоятельство, влияющее на систему педагогического образования. В ФРГ учителя делятся на 6 типов: учитель начальной школы – L1 (Lehramt), учитель основной и реальной школы – L2, учитель гимназии – L3, учитель профессиональной школы – L4, учитель общей школы – L5, учитель высшей школы – L6. В соответствии с дифференциацией учителей осуществляется их подготовка [15].

Кооперация школы и вуза прослеживается не только в организации семинаров для будущих специалистов, но и в организации совместных проектов. Примером такой кооперации являются многочисленные проекты: «учитель – ученик – ценности», «учитель – молодежь – толерантность», «ученик – экологический императив», «зеленая классная комната» в университете г. Ульм (земля Баден-Вюртемберг). Школьники имеют возможность примерить на себя выбранную профессию, решать проблемы с позиции школьника и учителя.

Следующий шаг на пути к педагогической профессии – поступление в университет. Как правило, допуском в вуз служат наличие аттестата зрелости об окончании гимназии или профессиональной школы, а также владение двумя иностранными языками. Некоторые земли ФРГ, согласно законам о педагогическом образовании, обязывают абитуриентов пройти до начала обучения в университете четырехнедельную практику в учреждениях для детей и молодежи (закон о педагогическом образовании земли Гессен). Практика включает 120 рабочих часов за четыре недели и ставит цель ориентации абитуриентов на будущую профессию. Такой подход способствует сохранению или изменению принятого абитуриентом решения.

Как известно, Германия относится к числу первых европейских государств, подписавших Болонскую декларацию о создании общеевропейского образовательного пространства. В связи с этим высшему образованию в Германии характерна двухступенчатая система подготовки – бакалавр–магистр [5].

Первая ступень предполагает в 7–10 мес. обучения и направлена на освоение студентом теоретической части (1800 ч) по предметам из цикла «Дидактика» (Bildungswissenschaften), состоящей из шести модулей:

1. Ведение в науки об образовании.
2. Преподавание.
3. Воспитание.
4. Оценивание.
5. Инновации.
6. Учебная ознакомительно-исследовательская практика [15].

Во-вторых, прохождение курса по предметам специализации выпускника (минимум по двум): один предмет из цикла обязательных предметов, а другой – из дополнительных. Комбинация «немецкий язык–история» включает количество часов на изучение предметов из обязательной части образовательной программы, дидактику немецкого языка, историю, а также посещение 12-недельной учебной ознакомительно-исследовательской практики в школе, что составит в сумме для одного студента 2700 ч.

Школьная ознакомительно-исследовательская практика выполняется по отдельному плану. В земле Гессен она состоит из двух этапов. Первый этап предполагает посещение уроков студентом (даже, если они не связаны с его специализацией), преподавание небольших частей уроков под руководством педагога-наставника и проведение небольших исследований. Каждый студент вправе выбрать 2 темы, например, «Менеджмент учебного пространства», «Поддержание дисциплины школьников во время урока». Исходя из теории и полученных данных, студент вправе одобрить или подвергнуть критике методику преподавания. Практика, продолжительностью в 6 недель, завершается Итоговым семинаром, на котором будущие учителя сообщают о результатах своих исследований, а также обсуждают полученный опыт.

Второй этап посвящен изучению дидактики одного из выбранных предметов и погружению в профессиональную деятельность. Продолжительность этого этапа составляет 6 недель. В других землях Германии (земля Северный Рейн-Вестфалия) для студентов университета г. Кельна под учебную ознакомительно-исследовательскую практику в школе отведен целый семестр (минимум 5 мес.) Во время семестра студент обязан спланировать и реализовать исследовательский учебный проект, проанализировать результаты практики и отразить в персональных электронных портфолио. По мнению исследователя Д. Яборнега, портфолио демонстрирует такие сформированные способности и педагогические качества учителя, как рефлексия, самокритичность, терпение, ответственность, стремление к самообразованию и др. [10]. Данный вид практики осуществляется под руководством преподавателей

университета в формате смешанного обучения – комбинация очных мероприятий с элементами дистанционного электронного обучения [12].

Первый Государственный экзамен (Erste Staatsprüfung) завершает первую ступень обучения и позволяет присвоить выпускнику степень «Мастер образования». Следует отметить, что право на организацию данного экзамена во многих землях возложено на компетентные структуры: учреждения, отвечающие за переподготовку и повышение квалификации преподавателей (земля Гессен), на экзаменационные ведомства при школах (земля Северный Рейн-Вестфалия) [11].

Очевидным достоинством такой модели является возможность значительной интенсификации междисциплинарных связей. Многие спецкурсы по актуальным проблемам гуманитарного знания и современным технологиям могут с успехом читаться на различных гуманитарных и естественно-научных факультетах классических университетов на уровне подготовки специалистов и бакалавров университетского образования. Традиционная система высшего образования ориентирована на формирование специалиста-профессионала и предполагает насыщение учебных планов вузов специальными знаниями. Более того наблюдается разрыв между гуманитарной и естественно-научной культурой, препятствующий становлению гармоничной личности. Сегодня в равной мере необходимы как гуманитаризация естественно-научного и технического образования, так и естественно-научная фундаментализация гуманитарного образования [6, с. 263–266].

Ко второй ступени университетской подготовки допускаются выпускники при наличии диплома «Мастер образования». Обучение строится в три фазы, но с разной продолжительностью (для выпускников начальных школ – 12 мес. (земля Саксония), для выпускников реальных, спец- и профессиональных школ, гимназий до 24 мес. (Тюрингия)). Первая фаза длится от 2–6 мес. (отсутствует в землях Нижняя Саксония и Шлезвиг-Гольштейн). Цель второй фазы – углубленная подготовка референдариев к педагогической деятельности путем посещения занятий обучающего семинара, а также проведения от 8–17 ч учебных уроков под руководством преподавателя-наставника и тщательного анализа совместных занятий. Преимуществом третьей фазы является возможность самостоятельного преподавания уроков и получение заработной платы. Во время практики референдария выплачивается материальная помощь или пособие (нем. die Unterhaltsbeihilfe). В Баварии оплата труда практикантов (нем. Vergütung) составляет 1.172,40 € ежемесячно. В процессе практики многолетние референдарии получают дополнительные социальные выплаты (нем. Familienzuschlag). Денежное пособие к Рождественским праздникам (нем. Weihnachtsgeld), а также компенсация за неиспользованный отпуск (нем. Urlaubsgeld) референдариям не выплачиваются. Из начисленной заработной платы референдария производятся удержания в пенсионные фонды, на случай безработицы, а также на предмет необходимости постоянного ухода (нем. Beiträge für Renten-, Arbeitslosen- und Pflegeversicherung). Вместе с тем каждый референдарий имеет обязательное страхование при временной нетрудоспособности, то есть болезни (нем. Krankenversicherung). Практиканту предоставляется ежегодный оплачиваемый отпуск (нем. Erholungsurlaub) согласно возрасту работника. Так, при достижении 29 лет отпуск включает 26 дней ежегодно, с 30 лет – 29 дней и с 40 лет – 30 дней. Однако в первые 6 месяцев прохождения подготовительной службы отпуск не предоставляется [13].

В процессе подготовки в университетах второй ступени референдарии приобщаются к ценностям немецкого общества, общемировым сокровищам различных культур и религий. Они овладевают умениями быть терпимыми не только друг к другу, но и к своим будущим ученикам при изучении таких дисциплин, как педагогика, этика, социология и психология, религия в качестве основы духовности и нравственности [15]. Обучение второй ступени завершает Второй Государственный экзамен (Zweite Staatsprüfung), состоящий из собеседования в устной форме, открытых итоговых уроков, а также оценки педагога-наставника, закрепленным за референдарием администрацией школы [8]. Таким образом, в Германии референдарият является заключительным этапом университетского образования.

Экологическое образование в ФРГ. На сегодняшний день в Германии создана система непрерывного экологического образования для устойчивого развития (ЭОУР), в которой высшая школа выступает ключевым звеном. Правительство страны, понимая, что охрана окружающей среды является важным политическим вопросом на международном уровне, поддержало идею создания при университетах научно-исследовательских баз. Во многих университетах обучение строится параллельно с реализацией научно-исследовательских проектов по экологии, экономике и социальным проблемам. Их осуществление стало возможным во многом благодаря тесному сотрудничеству университетов и исследовательских центров, сотрудничеству с промышленными предприятиями в формате совместных исследований, консультаций с представителями общественной, научной и политической жизни. Следует добавить, что на федеральном уровне основную ответственность за научно-техническую политику несет Федеральное министерство образования и научных исследований (BMBWF), а на уровне земель – министерства

образования и науки и министерства экономики. Совместная научная конференция (GWK) – основной орган, который координирует политику в области научных исследований между федеральным правительством и правительствами земель. Подготовка специалистов, особенно таких естественно-научных и технических направлений, как химики, физики, инженеры, техники, предполагает изучение материала с включением большой доли экологических и экономических тем. В свою очередь экологические темы интегрируются с правом, экономикой и промышленной экономикой [14].

Важную роль в проведении научных исследований в 2007 г. сыграл Свободный университет Берлина при поддержке Министерства образования и науки ФРГ, опубликовав интерактивное руководство «Учеба и исследование для устойчивого развития» в помощь университетам и педагогам. Документ предоставляет возможность онлайн-поиска учебного заведения, области научного исследования и программы подготовки. Его значимость заключается также в том, что он включает 325 образовательных программ экологической направленности, из них 55 % программ включают образовательные модули по основным проблемам устойчивого развития («Ресурсный менеджмент»), 31 % программ акцентируют внимание исключительно на проблемы устойчивого развития («Экотуризм»), в 14 % программ включены специальные лекции, посвященные вопросам устойчивого развития (например, «Устойчивое развитие предприятий») [9].

Следует отметить, что на повышение престижности экологического образования для устойчивого развития оказывают немецкие фонды и общества. Их деятельность заключается в предоставлении финансовой помощи студентам, преподавателям и ученым на исследования, стажировки и обучение. Например, фонд им. А. Гумбольдта, Германское научно-исследовательское общество (DFG), Германская служба академических обменов (DAAD) финансируют многие образовательные проекты по проблемам устойчивого развития. В 2009 г. на территории федеральных земель были организованы международные летние школы: «Устойчивое развитие как стратегия и цель высшего образования» при университете Люнебурга (земля Нижняя Саксония), школа «Бедность и социальное неравенство в образовании, их влияние на устойчивое развитие» при университете Касселя, «От исследований к практике: Роль образования для устойчивого развития в исследованиях, связанных с управлением природными ресурсами, образованием и международной кооперацией» при университете Грайфсвальда, «Устойчивость в лабораторном курсе по органической химии» при Техническом университете Брауншвейга и поддержки Технического университета Мюнхена, а также университета Йены и университета г. Бремена [4]. Таким образом, проведение мероприятий данного характера по вопросам устойчивого развития, с одной стороны, укрепляет фундамент знаниевой базы как основу формирования профессионального поля деятельности, а с другой – позволяет повысить престиж и эффективность университета, способствует его устойчивому развитию.

По данным DAAD, университетами Германии в настоящее время реализуются 39 образовательных программ по экологической тематике (на английском языке): 3 программы бакалавриата (Бранденбургский технологический университет, Аахенский университет прикладных наук, Бременский университет Якобса), 23 программы магистратуры (Гамбургский технологический университет, университеты Тюбингена, Йены, Киля, Дуйсберг-Эссена, Штутгарта, Гиссена, Фрайбурга, Грайфсвальда, Геттингена, Кельна, университеты прикладных наук Гиссена, Дортмунда, Оснабрюка и др.), 13 программ докторантуры (университеты Бонна, Лейпцига, Зигена, Штутгарта, Университет сравнительного и международного частного права Макса Планка, Фрайбергский университет горного дела и технологий, Центр экологических исследований Хаймхольца) [14].

Заключение

В ходе исследования выявлено, что профессия педагога в Германии занимает свое законное место в списке наиболее престижных специальностей. Определенное влияние на выбор данной профессии оказывает профориентация в рамках тесной кооперации школы и вуза, проводимая в формате семинаров, совместных проектов и исследований, а также обязательная четырехнедельная практика в учреждениях для детей и молодежи до начала обучения в университете.

Система высшего образования в Германии включает следующие ключевые направления:

- введение двухступенчатого обучения (система, базирующаяся на двух образовательных уровнях: бакалавр и магистр);
- создание интегрированных программ обучения и проведения научных исследований;
- контроль качества образования (развитие единых критериев оценки качества преподавания и образования);
- обеспечение привлекательности системы образования за счет программ фондов, научно-исследовательских обществ.

Итак, во многих университетах Германии обучение строится параллельно с реализацией научно-исследовательских проектов, практически по всем научным дисциплинам с акцентом на изучение экологических, экономических и социальных проблем. Таким образом, федеральное правительство и власти каждой земли принимают меры по созданию университетских научно-исследовательских баз. Важную роль в проведении научных исследований играет кооперация вузов и промышленных предприятий, исследовательских центров. В повышении престижности экологического образования для устойчивого развития играют немецкие фонды и общества. Их деятельность направлена, во-первых, на углубление фундаментальных знаний и умений, во-вторых, на предоставление финансовой помощи студентам, преподавателям и ученым, а также на исследования, стажировки и обучение, в-третьих, на повышение престижа университета. На основе конкурсного отбора в рамках Инициативы качества (Exzellenzinitiative) независимым жюри определены элитные университеты Германии, получившие дополнительное финансирование на развитие научных исследований, в том числе фундаментальных. В своем стремлении повысить качество преподавания эти передовые университеты твердо придерживаются трех принципов: школы выпускников, инновационных кластеров, концепции развития. Школам, в первую очередь, следует ориентироваться на подготовку выпускников с научным мышлением и на создание оптимальных условий, прежде всего докторантам. Кластеры в университетах должны стать научными и образовательными центрами международного масштаба, которые будут создавать единую сеть с внеуниверситетскими институтами, специализированными вузами и производством. Концепции развития перспективных научных исследований в университетах благодаря финансированию, смогут усилить научный профиль высших учреждений образования.

Следует отметить, что с каждым годом интерес университетов Германии к ЭОУР возрастает. Административные и финансовые проблемы, связанные с корректировкой и дополнением учебных программ, разработкой новых концепций обучения ликвидируются путем проведения педагогических мониторингов. Мониторинги позволяют, во-первых, изучить отношение студентов к образовательным программам, формам и методам ЭОУР, а также экологическому воспитанию. Во-вторых, способствуют внедрению новых образовательных компонентов в традиционные предметы без коренных изменений учебных программ и без дополнительных финансовых расходов. В третьих, решать социально-экологические, экономические и политические проблемы.

Библиографические ссылки

1. Барбер М., Муриед М. Как добиться стабильно высокого качества обучения в школах // Образовательная политика. 2008. С. 8.
2. Болотов В. А. Программа модернизации педагогического образования 2014–2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://педагогическоеобразование.рф/documents/show/14> (дата обращения: 16.11.2017).
3. Игнатова А. Ю. Немецкий учитель: путь в профессию // Вестн. ЛГУ им. А. С. Пушкина. Педагогика. 2011. Т. 3, № 2. С. 95–107.
4. Муртазина Л. Г. Экологическое образование и воспитание учащейся молодежи в учебных заведениях Германии // Казан. педагог. журнал. 2015. № 2 (109). С. 62–73.
5. Райхарт П. Текст доклада «Болонский процесс». Германия, 2010. С. 14.
6. Серова В. Н. Инновации и некоторые особенности преподавания в высших школах Германии // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. Т. 14, № 5. С. 263–266.
7. Талецкая Н. Н. Нормативная база системы школьного образования для устойчивого развития в ФРГ // Эколог. вестн. 2015. № 1 (31). С. 110–112.
8. Bundesverband der Freien Alternativschulen in der BRD // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.freieAlternativschule.de> (дата обращения: 10.10.2017).
9. Gerhard de Haan. Studium und Forschung zur Nachhaltigkeit. Der Leitfaden als Handbuch mit CD-ROM. W. Bertelsmann. Bonn, 2007.
10. Jabornega D. Das Konzept des Unterrichtes von Portfolio in der Lehrerbildung der USA. St. Gallen: Institut für Wirtschaftspädagogik, 2003.
11. Landesprüfungsamt für Lehrämter an Schulen. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lpal.nrw.de> (дата обращения: 21.10.2017).
12. Praxissemester. Das Wichtigste auf einen Blick. [Электронный ресурс]. URL: <http://zfl.uniköln.de/praxissemester> (дата обращения: 08.10.2017).
13. Rechtsreferendariat im Überblick – Juristenkoffer. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.juristenkoffer.de/rechtsreferendariat/> (дата обращения: 28.10.2017).
14. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Bundesregierung zur Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Deutscher Bundestag. 17. Wahlperiode. [Электронный ресурс]. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/143/1714325.pdf> (дата обращения: 17.11.2017).
15. Verordnung zur Durchführung des Hessischen Lehrerbildungsgesetzes. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.uni-giessen.de/cms/fbz/zentren/zfl/download> (дата обращения: 20.11.2017).

References

1. Barber M., Murshed M. [How to achieve consistently high quality of education in schools]. *Educational policy*. 2008. P. 8 (in Russ.).
2. Bolotov V. A. [Program of modernization of pedagogical education 2014–2017]. URL: <https://pedagogical.education.rf/documents/show/14> (date of access: 16.11.2017) (in Russ.).
3. Ignatova A. U. German teacher: the path to the profession. *Bull. of the Leningrad State University. A. S. Pushkin. Pedagogy*. 2011. Vol. 3. No. 2. P. 95–107 (in Russ.).
4. Murtazina L. G. [Ecological education and education of students in educational institutions in Germany]. *Kazan Pedagogical J.* 2015. No. 2 (109). P. 62–73 (in Russ.).
5. Reichart P. [The text of the report «The Bologna Process»]. Germany, 2010. P. 14 (in Russ.).
6. Serova V. N. [Innovations and some features of teaching in German higher schools]. *Bull. of Kazan. technol. univ.* 2011. Vol. 14, No. 5. P.263–266 (in Russ.).
7. Taletskaya, N. N. [Normative base of the school education system for sustainable development in the FRG]. *Ekolog. vestnik*. 2015. No. 1 (31). P. 110–112 (in Russ.).
8. [Federal Association of Free Alternative Schools in Germany]. URL: <http://www.freealternativeschool.de> (date of access: 10.10.2017) (in German).
9. Gerhard de Haan. [Studies and research on sustainability. The guide as a manual with CD-ROM. W. Bertelsmann]. Bonn, 2007 (in German).
10. Jaborneg, D. [The Concept of Teaching Portfolio in US Teacher Education St. Gallen]. 2003 (in German).
11. [Provincial Examination Office for School Teachers]. URL: <http://www.lpal.nrw.de> (date of access: 21.10.2017) (in German).
12. [Praxissemester. The most important thing at a glance]. URL: <http://zfl.uniköln.de/praxissemester> (date of access: 08.10.2017) (in German).
13. [The Legal Trainee Convention at a Glance – Legal Briefcase]. URL: <http://www.juristenkoffer.de/rechtsreferendariat/> (date of access: 28.10.2017) (in German).
14. [Information from the Federal Government. Federal Government for Education for Sustainable Development. German Bundestag. 17 electoral period]. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/143/1714325.pdf> (date of access: 17.11.2017) (in German).
15. [Ordinance on the Implementation of the Hessian Teacher Training Act]. URL: <https://www.uni-giessen.de/cms/fbz/zentren/zfl/download> (date of access: 20.11.2017) (in German).

Статья поступила в редколлегию 28.11.2017.
Received by editorial board 28.11.2017.

УДК 316.334:61(476)

КАТЕГОРИЯ ЗДОРОВЬЯ В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СОЦИОГУМАНИТАРНОГО ЗНАНИЯ

Т. Н. ШУШУНОВА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка,
ул. Советская, 18/1, 220050, Минск, Беларусь

Исследуется категория здоровья в контексте социально-гуманитарного знания как одно из условий эффективной национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь. Акцент сделан на философском аспекте анализа здоровья от истоков философской мысли до современных концепций как специфической области знания, соединяющей эволюцию представлений о здоровье человека, их преемственность, развитие основных идей о его сохранении.

Ключевые слова: здоровье; философия медицины; философия здоровья; здоровье физическое; здоровье духовное; норма здоровья; отношение к здоровью.

THE CATEGORY OF HEALTH IN THE HISTORY OF DEVELOPMENT OF SOCIAL AND HUMANITARIAN KNOWLEDGE

T. N. SHUSHUNOVA^a

^aBelarusian State Pedagogical University Named After Maxim Tank, Soviet street, 18/1, 220050, Minsk, Belarus

The category of health in the context of socio-humanitarian knowledge is examined as one of the conditions for an effective national strategy for sustainable social and economic development of the Republic of Belarus. The emphasis is on the philosophical aspect of the analysis of health from the sources of philosophical thought to modern concepts as a specific area of knowledge that connects the evolution of ideas about human health, their continuity, the development of basic ideas about its preservation.

Key words: health; philosophy of medicine; health philosophy; physical health; spiritual health; health standards; attitudes towards health.

Введение

Здоровье населения – приоритетное направление национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь. Вопросы, связанные с формированием здорового образа жизни и снижением влияния факторов риска, не остаются без внимания Главы государства и рассматриваются им в качестве основы успешной реализации проводимых в стране преобразований, которые направлены на достижение высокого качества жизни граждан. Состояние здоровья населения связывают с социально-экономической ситуацией в республике в контексте повышения значимости компоненты здоровья на фоне накопленных ранее достижений (сбережения, профессиональный

Образец цитирования:

Шушунова Т. Н. Категория здоровья в истории развития социогуманитарного знания // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 11–16.

For citation:

Shushunova T. N. The category of health in the history of development of social and humanitarian knowledge. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 11–16 (in Russ.).

Авторы:

Татьяна Николаевна Шушунова – кандидат социологических наук; доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин.

Authors:

Tatyana N. Shushunova, PhD (sociology), associate professor of the department of social and humanitarian disciplines. Shushunova_tatiana_bspu@mail.ru

статус, позиция на рынке труда и т. д.). Здоровье выступает тем естественным капиталом человека, который вступает в силу в момент, когда прежние ресурсы обесцениваются, требуется активизировать свою трудовую и экономическую активность для сохранения и поддержания уровня и качества жизни.

Человек – существо космофизическое, прошедшее этапы эволюции. Он рассматривается как триединое образование, состоящее из духа (духовности), души (то, что древние греки называли словом «психе») и тела (как биологического образования). В то же время, человек выступает частью взаимосвязанной и взаимозависимой системы, состоящей из трех элементов: человек – социум – природа. Нарушение функционирования любого ее элемента неизбежно затрагивает основы нормального и гармоничного существования всех остальных составляющих целостного образования. Мы предлагаем на начальном этапе исследования ценностного аспекта здоровья в жизни личности рассмотреть то, как оно осмысливается и категоризируется в дисциплинах, отвечающих за функционирование личности на каждом из уровней системы, где связь тела (физиология) и природы (окружающая среда) будет более полно прослеживаться в рамках медицинского анализа, который традиционно при оценке здоровья акцентирует свое внимание на наличии или отсутствии болезней и уровне загрязнения окружающей среды, влияющей на состояние здоровья человека. Соотнесение души с человеком (индивидом) можно осмысливать в рамках психологии, вследствие чего будут учитываться такие критерии здоровья, как способность к самоуправляемому поведению, адекватная реакция на внешние и внутренние раздражители, желание познавать мир и т. д. Итак, связь социума и духа (духовной составляющей личности) есть прерогатива социологического взгляда на здоровье человека, который за отправную точку исследования возьмет анализ влияния поведенческого фактора на состояние здоровья индивида, процент которого, по оценкам исследователей, в XX в. составил 50 %, учитывая значимость деятельности при формировании личности.

Однако несмотря на очевидные достоинства вышеперечисленных наук, при рассмотрении категории здоровья с точки зрения их различного фокуса внимания на человека, нам представляется важным также не упустить из вида философский аспект анализа как специфическую область знания, продукт духовного развития человечества и особую форму общественного сознания, способную обогатить исследовательский инструментарий такими особенностями человеческого мышления, как сомнение, логика и интеллект.

В истории философской мысли категория здоровья является концептуально обоснованной, обладающей ясным смыслом и возрастающей до уровня философски значимого, включенного в структуру всего философского учения. Исследованиям феномена здоровья посвящены труды В. Г. Ерохина, И. Н. Смирнова, П. Д. Тищенко, М. Б. Туровского, Е. Т. Фадеева, Г. И. Царьгородцева и др. Эволюция знания о здоровье человека, преемственность, развитие основных идей о том, как его сохранять – основные составляющие современного философского знания.

Генезис категории здоровья в истории философского учения

Античность. Для Древней Греции было характерно неоднозначное отношение к этому феномену человеческой жизни. С одной стороны, по мнению Платона, здоровье есть благо, причем оно относится к разновидности тех видов, которыми можно обладать, в отличие от тех, которые существуют сами по себе, или тех, которые подразумевают соучастие. Благодаря обладанию здоровьем, вкупе с другими телесными составляющими (среди которых сила, здравые чувства и т. д.), человек имеет все основания быть счастливым, а без них даже мудрец не будет счастлив. В то же время Платон утверждал, что «для соразмерности, красоты и здоровья требуется не только образование в области наук и искусства, но и занятия всю жизнь упражнениями, гимнастикой» [11]. Отмечая основные занятия мальчиков и подрастающих юношей в воспитательных домах Спарты, он называл военные упражнения: бег, борьбу, прыжки, бросание диска, метание копья, приобретение искусства владеть оружием, военные маневры. Если учесть, что воспитание выносливости, силы и мужества было важным условием защиты существующего порядка, то формирование физически развитой и подготовленной личности не сочеталось с понятием здоровье, что являлось особенностью Античного мира.

Следовательно, здоровье, помимо врожденного блага, от которого зависит успешность человека в мире, является еще и важным направлением древнегреческой педагогики. Утверждалось, что именно образованием отличаются люди от животных, эллины – от варваров, свободнорожденные – от рабов, философы – от простолюдинов людей. О важности заботы о своем теле писал древнегреческий философ-стоик Гиерокл (V в. до н. э.): «Смертное тело, данное нам как орудие для жизни на земле, не следует раскармливать от чрезмерного чревоугодия или истощать неумеренным голодом. И то, и другое одинаково мешает его использованию» [8]. По его мнению, для здоровья человека важны гимнастические упражнения, но в меру: «Философ будет выбирать такие телесные упражнения и пищу, которые не сделают

тело слишком тучным и не будут ставить его выше мыслительной деятельности. Его цель не просто тело, но тело, которое служит разуму. Следует выбирать такую еду, питье и телесные упражнения, которые делают тело послушным добродетельному образу жизни и не побуждают неразумное начало к неповиновению управляющему разуму. Ты должен тщательно выбирать меру ухода за телом, ибо ты будешь отвечать за его неразумные движения. Гимнастические упражнения стоят на третьем месте, потому что они исправляют насыщение и готовят к тому, чтобы вести здоровый образ жизни...» [8].

Согласно пифагорейской концепции, человек мудрый не пренебрегает своим здоровьем, но и не превозносит тело, поскольку понимает, что оно необходимо для блага души. На обыденном уровне здоровье каждого человека в это время рассматривалось с точки зрения того, насколько точно философские воззрения человека соответствуют его действительному образу жизни. В работе польского историка Л. Винчук, посвященной нравам и обычаям древней Греции, можно найти доказательство такой точке зрения: «Программа обучения охватывала и приравнивала друг к другу воспитание интеллектуальное, музыкальное и физическое. Это было связано с особенностями самой греческой культуры, в которой воспитание понималось как неразрывное единство "гимнастического" и "мусического", как развитие физическое и умственное одновременно. Синтезом этих двух элементов должно было стать классическое равновесие тела и духа, прославленный идеал «калокагатии» — красоты и добра, слитых в человеке воедино» [1].

Наряду с педагогической направленностью категории здоровья, с точки зрения воспитания тела и воспитания души, одновременно развивается и врачебный аспект. Так, древнегреческий философ Аристотель в работе «Метафизика» осуществляет попытку рационального постижения человеческого организма, которая впоследствии стала базой для врачебной практики Гиппократов. Представители Книдской и Косской школ греческой медицины заложили основы западноевропейского понимания оппозиции «здоровье–болезнь», сознательно разорвав связь с древней мистической практикой иррационального пророческого «волшебства». Философы Гален, Авиценна и др. продолжали осмысливать здоровье в русле медицинского направления. Три направления в изучении здоровья: педагогическое, развивающее физическую выносливость человека; духовное, под которым понимались здоровые мысли (вера и принятие определенной философской доктрины) и медицинское, отрицающее мистику и ориентирующееся на врачебную практику, будут иметь последователей и продолжение на протяжении всей истории философской мысли.

Средние века. Так, благодаря наследию Античности, в Средние века утверждается интеллектуальный статус медицины, который позволил отбросить все те практики, которые не отвечали общепринятой доктрине. Но главной особенностью этого периода развития является его религиозное восприятие мира, вследствие чего тело само по себе не существовало, но в нем всегда пребывала душа, спасение которой провозглашалось первоочередной задачей для человека. Врачевателями становились не врачи, а отцы церкви. «Медицина души» брала на себя также и страдающее тело. Богословы того времени отрицали ценностные характеристики физического здоровья, но ратовали за веру в Бога, которая есть проявление силы духа отдельной личности, способной принять любую волю создателя. Главными добродетелями признавались: вера, надежда, любовь, праведность и смирение, а в соединении со способностью к личностному ограничению в сытой еде, дорогой и комфортной одежде, красивом жилище и светских развлечениях, давало на образ средневекового праведника [2]. Отношение в земной жизни складывалось из средневековой традиции, восходящей к отцам церкви, которая рассматривала болезни и смерть как кару Бога за грехи человека, а земную жизнь – как подготовку к вечной жизни. Чем короче жизнь, тем лучше, ибо меньше накапливается грехов [13, с. 24]. Таким образом, отметим, что здоровье, как и болезнь человека, связывалось с понятием его греховности.

Возрождение. Эпоха Возрождения, утверждая гуманистический подход, признавала человека главной ценностью, стремилась подчеркнуть важность для гармонично развитой личности единства тела и души. Для этого времени было характерно рассматривать жизнь с точки зрения полноты ее проживания и переживания с помощью наук и «искусств» как главных условий достижения человеком благополучия и счастья, а также физического и духовного здоровья [13, с. 25]. К здоровью предъявлялись требования физического совершенствования, заимствованные из лучших традиций античных учителей, соединенные с лучшими гуманистическими идеалами. Это нашло отражение в работах философов, художников, ученых того времени, которые посчитали необходимым обратить свое внимание на одно из главных благ человека, непреложно присутствующее нем – на человеческое тело, на его правдивое изображение как природного создания. По их мнению, именно тело человека является тем самым благом, которое важно сохранить, следовательно, все те действия, которые осуществляет человек, направленные на сохранение своего здоровья, есть показатель осознания личностью на сколько для него оно ценно. Доктор медицины Жюльен Офре де Ламетри, повторяя идеи Платона о том, что есть

благо, называл здоровье тем, что делает человека счастливым, особенно если ему удалось получить от рождения хорошее телосложение, поскольку чувственное наслаждение является целью жизни, а у добродетели не может быть иного основания, кроме любви человека к самому себе [3].

Новое время. Эпоха Нового времени окончательно автономизирует понятие «здоровье» и создает биомедицину как самостоятельную научно-практическую область, свободную от философии и преодолевает противопоставление здоровья физического здоровью духовному. Успехи в области естествознания, открытия ученых способствовали более глубокому изучению здоровья человека. В это время акцент делается на поиске основных закономерностей функционирования человеческого организма для сохранения его здоровья.

Следует отметить, что категория здоровья в истории философской мысли развивалась в двух самостоятельных направлениях: педагогически ориентированном и врачевательно-медицинском, изменяя приоритеты внимания с тела на душу и наоборот, а в итоге пришло к окончательному размежеванию иррациональной мистики от врачевательной практики, утвердив тем самым категорию «здоровья» в область медицинского анализа.

Современность и здоровье. Таким образом, несмотря на отсутствие четкой и единой дефиниции здоровья, с философской точки зрения, существование человека, его жизнь и деятельность воспринимается как естественное саморазвитие присущих ему свойств и качеств. Данное определение исходит из антропоцентричной установки и полагания человека как микрокосмоса. Об этом писал Ю. А. Лукин, предлагая создать концептуальную парадигму философии здоровья, которая должна вернуть человеку ощущение собственной индивидуальности и сопричастности бытию в ситуации приближающейся антропологической катастрофы, которая была предсказана еще О. Шпенглером в работе «Гибель культуры» [4]. Данная парадигма должна отстаивать убежденность в том, что достижение полноты здоровья – это инициатива самого человека, а не навязанное извне требование, обусловленное экономическими, демографическими или социальными факторами. Автор ставит проблему превращения современного индивида в придаток машины, когда человек и машина начинают восприниматься как одно целое. В свое время данной проблеме уделял внимание Э. Фромм. В работе «Здоровое общество» он выделял в качестве особой черты современной западной культуры – сведение всего к количеству и абстракции. Философ обосновывал проблему предельно четко: «В обществе, где экономическая деятельность стала главным занятием человека, процесс сведения всего к количеству и абстракциям перерос в сферу экономического производства и распространился на отношения человека к вещам, людям к самим себе» [10, с. 127]. Развивающаяся техника роботизирует человека, вследствие этого здоровье больше не рассматривается в качестве абсолютного понятия, но воспринимается как ресурс, обеспечивающий еще большие успехи человека в области технических достижений, развития культуры, науки, искусства и т. д. Эдлай Стивенсон в своей лекции, представленной аудитории Колумбийского университета, отмечал: «Теперь уже нам не грозит опасность стать рабами, но мы можем превратиться в роботов» [10, с. 115].

Следует отметить, что в настоящее время здоровье человека рассматривается как человеческий капитал. Он обеспечивает тот уровень и качество жизни, на которые человек вправе рассчитывать, если его вклад в состояние своего здоровья постоянно пополняется как благодаря личной инициативе, так и за счет государственных инвестиций в здравоохранение. Белорусский социолог Г. Н. Соколова, исследовав связь состояния здоровья населения с социально-экономической ситуацией в стране в контексте повышения значимости его компоненты, пишет следующее: «Состояние здоровья человека – это его естественный капитал, одна часть которого является наследственной, а другая – приобретенной в результате инвестиций в здоровье самого человека и общества, когда многие ресурсы начинают обесцениваться в ситуации социально-экономической нестабильности, и людям приходится активизировать свою трудовую и экономическую активность для сохранения и поддержания уровня и качества жизни» [9].

Отметим, что первое проблемное поле в философском осмыслении категории здоровья будет связано в настоящее время с потерей абсолютной ценности здоровья человека, а его восприятие как необходимое дополнительное средство для успешного конкурентного противостояния с развивающейся быстрыми темпами техникой. В системе философского знания как системы фундаментальных идей, теоретически объясняющей отношение человека к миру в его целостности, можно выделить различные структурные составляющие, среди которых назовем философию здоровья и новое направление – философию медицины.

Философия здоровья – это направление в русле философской антропологии как системы всеобщих знаний о здоровье (и нездоровье) человека. Она представляет собой сплав научных дисциплин медицины, валеологии, санологии, этики, эстетики, а также вариант учения, близкого по тональности к духовной сфере. Как база традиционной медицины «философия здоровья исходит из общепринятого в научном сообществе понимания фундаментальных законов бытия и представлений о человеке, в котором

физическое определяет психическое, а мысль рассматривается как функция мозга. Основа всего – материя, физическая, физиологическая телесность» [13]. В то же время, философия медицины тяготеет к медико-биологической составляющей [12]. Она рассматривает человека как личность, как целостный природный и социально-культурный феномен. Каждая личность имеет внутреннюю интеллектуальную и психоэмоциональную установку на сохранение и укрепление своего здоровья. Таким образом, одни стремятся сделать все возможное, чтобы не допустить болезнь в свою жизнь за счет здорового образа жизни, ориентации на позитивный тип самосохранительного поведения, которое находит выражение в регулярных профилактических медицинских осмотрах, стремлении избежать трудностей и высокого риска. Другие – будут относиться к своему здоровью как к средству достижения определенных целей в жизни. И в то же время каждая личность наследует определенные биологические, физиологические, психологические возможности и состояния, которые на фоне имеющихся социокультурных условий делают возможным реализовывать свои задатки.

В этом контексте философия медицины фокусирует свое внимание при рассмотрении здоровья по его градации на три уровня: норма, болезнь, практически здоров; или еще один вариант этой же трехуровневой системы: простое выживание, нормальное здоровье, отличное здоровье. Здесь понятие «норма здоровья» выступает в качестве наиболее дискуссионной. С философской точки зрения, по мнению доктора философских наук Ю. М. Хрусталева, понятия «норма» и «здоровье» не следует отождествлять – это близкие, но не совпадающие состояния в жизнедеятельности человека, в противном случае это значило бы отождествление части и целого, элемента и системы [12]. Поскольку «норма», будучи количественной составляющей отдельных составных частей, элементов, отражает состояние той или иной клетки, ткани, органа, то «здоровье» отражает качественное состояние организма человека как личности в целом, оно уникально, индивидуально и целостно. Норм может быть много, а здоровье – одно. Норма, как установленный стандарт для оценки объектов, всегда императивна и формулируются на основе определенных законов. Нормы многообразны и представлены в виде правил, предписаний, эталонов оценки. Они бывают частные и общие, познавательные и технические, методологические и логические и т. д. Сейчас фиксируется норма жизни человека как выражение его полнокровной, свободной, творческой деятельности, что возможно осуществить при условии того, что человек объективно чувствует себя здоровым и субъективно переживает свое физическое, умственное и социальное благополучие. Поэтому здоровье является высшим интегральным показателем нормального функционирования организма и личности в природной и общественной среде.

Заключение

Таким образом, долгое время при определении нормы и здоровья использовался социологизированный подход, согласно которому главным критерием была оценка трудовой и общественной активности человека. Сейчас же ведется речь о личностном и социально ценностном аспекте укрепления здоровья. Это выражается в том, что каждое личностно ориентированное государство, развивающее гуманистические принципы, должно прилагать все усилия по сохранению и укреплению здоровья его граждан как необходимую предпосылку развития экономики, культуры и т. д., путем распределения бюджетных средств на решение проблем здравоохранения, социального обеспечения и охрану окружающей среды. Важнейшая проблема категории здоровья в философии связана с развитием и сохранением гуманистических начал при утверждении современных норм здоровья. Изложенные в исследовании проблемы представляют собой разные точки зрения на рассмотрение междисциплинарной категории здоровья с акцентом на ее философское осмысление. Это выступает доказательством их актуальности, что обуславливает интерес исследователей, обращающихся к данной теме.

Библиографические ссылки

1. Винчук Л. Люди, нравы и обычаи Древней Греции и Рима. М., 1988.
2. Ковалевская А. Ф. Формирование ценностного отношения к здоровью // Проблемы современной экономики. 2007. № 1 (21).
3. Ламетри Ж. О. Сочинения. М., 1976.
4. Лукин Ю. А. Философский анализ феноменов и категорий «здоровье/болезнь»: автореф. по философии. [Электронный ресурс]. URL: <http://cheloveknauka.com/filosofskiy-analiz-fenomenov-i-kategoriy-zdoroviebolezn#ixzz4tld3P8H9> (дата обращения: 21.09.2017).
5. Ле Гофф Ж., Трюон Н. История тела в средние века [Электронный ресурс]. URL: <http://rubooks.org/book.php?book=8907&page=47> (дата обращения: 21.09.2017).
6. Национальный мониторинг здоровья россиян. Пресс-выпуск, № 3371. [Электронный ресурс]. URL: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=116194> (дата обращения: 21.09.2017).

7. Некрасова Т. А. Здоровый образ жизни в контексте современного социологического анализа // Социальные институты и процессы. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/zdorovyy-obraz-zhizni-v-kontekste-sovremennogo-sotsiologicheskogo-znaniya> (дата обращения: 21.09.2017).
8. Пифагорейские «Золотые стихи» с комментариями Гиерокла. М., 1995.
9. Соколова Г. Н. Состояние и использование капитала в сфере здравоохранения [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sostoyanie-i-ispolzovanie-chelovecheskogo-kapitala-v-respublike-belarus> (дата обращения: 21.09.2017).
10. Фромм Э. Здоровое общество. М., 2016.
11. Щекина Н. Б. Предпосылки развития идей о здоровье и здоровом образе жизни. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predposylki-razvitiya-idey-o-zdorovie-i-zdorovom-obraze-zhizni> (дата обращения: 21.09.2017).
12. Шулга Е. Н. Здоровье в контексте философско-исторического анализа. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/zdorovie-v-kontekste-filosofsko-istoricheskogo-analiza> (дата обращения: 21.09.2017).
13. Философия здоровья. М., 2001.
14. Хрусталеv Ю. М. Философия науки и медицины: учебник. М., 2009.

References

1. Vinciuk L. [People, customs and customs of Ancient Greece and Rome]. Moscow, 1988 (in Russ.).
2. Kovalevskaya A. F. [Formation of the value relation to health]. *Problems of modern economy*. 2007. № 1 (21) (in Russ.).
3. Lametry J. O. [Compositions]. Moscow, 1976 (in Russ.).
4. Lukin Yu. A. [Philosophical analysis of phenomena and categories «health / illness»: Abstract on philosophy]. URL: <http://cheloveknauka.com/filosofskiy-analiz-fenomenov-i-kategoriy-zdoroviebolezni#ixzz4tld3P8H9> (date of access: 21.09.2017).
5. Le Goff F, Truon N. [History of the body in the Middle Ages]. URL: <http://rubooks.org/book.php?book=8907&page=47> (date of access: 21.09.2017) (in Russ.).
6. [National monitoring of health of Russians. Press Release. No. 3371]. URL: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=116194> (date of access: 21.09.2017) (in Russ.).
7. Nekrasova T. A. Healthy way of life in the context of modern sociological analysis. *Social institutes and processes*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/zdorovyy-obraz-zhizni-v-kontekste-sovremennogo-sotsiologicheskogo-znaniya> (date of access: 21.09.2017).
8. [Pythagorean «Golden Poems» with commentaries by Hierocles]. Moscow, 1995 (in Russ.).
9. Sokolova G. N. [State and use of capital in health care]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sostoyanie-i-ispolzovanie-chelovecheskogo-kapitala-v-respublike-belarus> (date of access: 21.09.2017) (in Russ.).
10. Fromm E. [Healthy Society]. Moscow, 2016 (in Russ.).
11. Schekina N. B. [Preconditions for the development of ideas about health and a healthy lifestyle]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predposylki-razvitiya-idey-o-zdorovie-i-zdorovom-obraze-zhizni> (date of access: 21.09.2017) (in Russ.).
12. Shulga E. N. [Health in the context of philosophical and historical analysis]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/zdorovie-v-kontekste-filosofsko-istoricheskogo-analiza> (date of access: 21.09.2017) (in Russ.).
13. [Philosophy of health]. Moscow, 2001 (in Russ.).
14. Khrustalev Yu. M. [Philosophy of Science and Medicine: textbook]. Moscow, 2009 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 27.11.2017
Received by editorial board 27.11.2017

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 574 (075.8)

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РЕСУРСОВЕДЕНИЕ КАК НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

Е. С. ИВАНОВ¹⁾, В. В. ЧЕРНАЯ¹⁾, С. С. ПОЗНЯК²⁾, Б. И. КОЧУРОВ³⁾

¹⁾Рязанский государственный университет им. С. А. Есенина, ул. Свободы, 46, 390000, Рязань, Россия

²⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

³⁾Институт географии Российской академии наук, ул. Вавилова, 37, 117312, Москва, Россия

Представлено краткое обоснование научных предпосылок к возникновению и развитию нового направления в науке – экологического ресурсоведения. Впервые дано определение и раскрыта суть понятия экологическое ресурсоведение.

Ключевые слова: экологическое ресурсоведение; экономические ресурсы; природные ресурсы; рекреационные ресурсы; экологические ресурсы; устойчивое развитие; природопользование.

Образец цитирования:

Иванов Е. С., Черная В. В., Позняк С. С., Кочуров Б. И. Экологическое ресурсоведение как новое научное направление // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 17–26.

For citation:

Ivanov E. S., Chernaya V. V., Pazniak S. S., Kochurov B. I. Environmental resource studies as a new scientific direction. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 17–26 (in Russ.).

Авторы:

Евгений Сергеевич Иванов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологии и природопользования.

Виолетта Вячеславовна Черная – кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования.

Сергей Степанович Позняк – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заместитель директора по научной работе.

Борис Иванович Кочуров – доктор географических наук, профессор; ведущий научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования.

Authors:

Evgeniy S. Ivanov, doctor of science (agriculture), professor; head of the department of ecology and natural management.
e.52.ivanov@yandex.ru

Violetta V. Chernaya, PhD (geography), associate professor of the department of ecology and natural management.
harmony19721911@gmail.com

Siarhei S. Pazniak, doctor of science (agriculture), professor; deputy director for research.
pazniak@iseu.by

Boris I. Kochurov, doctor of science (geography), professor; leading researcher of the department of physical geography and the problems of natural management.
camertonmagazin@mail.ru

ENVIRONMENTAL RESOURCE STUDIES AS A NEW SCIENTIFIC DIRECTION

E. S. IVANOV^a, V. V. CHERNAYA^a, S. S. PAZNIAK^b, B. I. KOCHUROV^c

^a*Ryazan State University Named for S. Yesenin (RSU), Svobody street, 46, 390000, Ryazan, Russia*

^b*Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

^c*Institute of Geography of Russian Academy of Science, Vavilova street, 37, 117312, Moscow, Russia*

Corresponding author: e.52.ivanov@yandex.ru

The article is devoted to the short argumentation of scientific prerequisites for the emergence and development of a new direction in science – environmental resource studies. For the first time the authors give the definition and reveal the essence of the concept of environmental resource studies.

Key words: environmental resource studies; economic resources; natural resources; recreational resources; environmental resources; sustainable development; environmental management.

Введение

До недавнего времени господствовал неоправданно оптимистический взгляд на перспективы обеспечения человеческого общества необходимыми природными ресурсами. Они традиционно делились на исчерпаемые и неисчерпаемые, причем высказывались мнения, что в будущем эти ресурсы смогут классифицироваться как неисчерпаемые вследствие прогресса в технике геологоразведочных работ, технологии добычи и обработки руд, а также вторичному использованию отходов. Современные представления рубежа XX–XXI вв. свидетельствуют об обратном. Неисчерпаемых природных ресурсов нет [Милановский Е. В., Рябчиков А. М., 1986].

Природные ресурсы разнообразны, как и возможности их использования в хозяйстве, быту; они являются составной частью материально-технической базы общественного производства и социальных преобразований. Это – категория историческая, связанная с уровнем развития производства. Каждой исторической эпохе соответствует свое определение и соотношение ценности разных ресурсов. Было время, когда не использовались в производстве сланцы, редкоземельные металлы. В настоящее время используется больше половины из известных науке (8 млн) химических соединений. При этом современные технологии способны не только перерабатывать природные ресурсы, но и создавать материалы с заданными свойствами, заменяющие природные (например, синтетические полимеры, искусственные алмазы).

Поскольку под природными ресурсами подразумеваются естественные тела, явления и процессы, эксплуатируемые для удовлетворения потребностей отдельных людей и общества в целом, их можно отнести к категории материальных предметов и вещей. Однако, по мнению В. В. Рудского (2008), в современных условиях это была бы неоправданно узкая трактовка, поскольку в роли природных ресурсов выступает не только топливо, руды, вода и т. д., но и, например, эстетические свойства ландшафта. Соответственно, в современных географических науках и исследованиях понятие природных ресурсов трактуется широко: это элементы природы, являющиеся средствами существования общества и используемые в хозяйстве.

Однозначного определения понятия «ресурсоведение» не существует. Происходит оно из слова «ресурс» – запасы, источники чего-нибудь (природные ресурсы, ресурсы экономики, трудовые ресурсы) [Ожегов, Шведова, 1995].

Ресурсы – фундаментальное понятие экономики, означающее источники, средства, поступающие в производство, обеспечивающие как собственно производство, так и движение, использование, потребление полученного продукта [Райзберг, 2010].

В рамках деления ресурсов на природные, или естественные (включая в это понятие природные условия ведения хозяйства), трудовые и материальные <...> действует правило «интегрального ресурса», что, по Н. Ф. Реймерсу (1990), «охватывает все упомянутые группы».

Исходя из этого положения и принимая во внимание междисциплинарный характер изучения ресурсов, дадим следующее определение ресурсоведения.

Ресурсоведение – научное направление о запасах (количествах, объемах, качестве) и размещении отдельных видов ресурсов и их комплексов, возможностях и путях их хозяйственного использования, воспроизводства и охраны.

Выделяют различные виды ресурсов: природные, трудовые, материальные, энергетические и т. д. Все виды ресурсов, которые используются в процессе производства товаров и услуг – экономические ресурсы [Экономика, 2005]. К ним относятся природные ресурсы (земельные, минерально-сырьевые, водные, лесные, биологические, климатические, рекреационные); трудовые ресурсы (люди с их способностью производить товары и услуги); капитал (в форме денег и ценных бумаг, то есть финансовый капитал, или средства производства, реальный капитал); предпринимательские способности (способности людей к организации производства и услуг, знания, необходимые для хозяйственной жизни), вырабатываемые наукой и распространяемые через образование.

Экономические потребности безграничны, но в то же время экономические ресурсы ограничены. Это сочетание двух типичных для хозяйственной жизни ситуаций – безграничность потребностей и ограниченность ресурсов – образует основу развития экономики.

Природные ресурсы – важнейшие ресурсы, без которых невозможно представить развитие человеческого общества. Под природными ресурсами понимают природные тела, явления и процессы, которые человек использует или может использовать для прямого или непрямого потребления, содействия созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов, поддержания условий существования и повышения качества жизни. Природные ресурсы многообразны, как и возможности их использования в хозяйстве, быту [Миланова, Рябчиков, 1986]. Они являются составной частью материально-технической базы общественного производства.

С различными классификациями природных ресурсов связано понятие «природно-ресурсного потенциала» и «ресурсных циклов» [Географический энциклопедический словарь, 1988]. Природно-ресурсный потенциал (ПРП) территории – это совокупность ее природных ресурсов, которые могут быть использованы в хозяйственной деятельности с учетом научно-технического прогресса. ПРП характеризуется двумя главными показателями – размерами и структурой, которая включает минерально-сырьевую, земельную, водную и другие частные потенциалы

Ресурсный цикл позволяет проследить последовательные стадии круговорота природных ресурсов: выявление, извлечение, переработку, потребление, возвращение отходов обратно в окружающую среду. Примерами ресурсных циклов могут служить: цикл энергоресурсов и энергии, цикл лесных ресурсов и лесоматериалов и др.

С использованием и реализацией природно-ресурсного потенциала тесно связано понятие «ресурсообеспеченность». Это соотношение между величиной природных ресурсов и размерами их использования. Выражается либо количеством лет, на которые должно хватить данного ресурса, либо его запасами на душу населения.

Интенсивное использование природных ресурсов за последние десятилетия привело к серьезным экологическим проблемам, которые приобрели глобальный характер. Это становится одной из причин пересмотра отношения человечества к окружающей среде и природным ресурсам, а также перехода к современному этапу охраны природы и рациональному (эффективному) природопользованию. Стало очевидным применение экологического подхода при изучении природных ресурсов и их использовании. Это дало основание для развития междисциплинарной области научных исследований – экологического ресурсоведения.

Экологическое ресурсоведение – научное направление о закономерностях, особенностях распространения и запасах отдельных видов природных ресурсов и их комплексов, возможностях и путях их хозяйственного использования с учетом экологических последствий [по Иванову Е. С., Кочурову Б. И., Чёрной В. В., 2015]. Это межотраслевое интегрированное направление, базирующееся на основе концепции поддерживаемого (устойчивого) развития, идеях гармонизации экономических и экологических интересов общества, решении эколого-ресурсных задач и создании безотходных экологически безопасных технологий на перспективу, сохранении благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала, развитии системного непрерывного экологического образования в целях удовлетворения жизненно необходимых потребностей населения.

В экологическом ресурсоведении акцент делается на оценку соответствия запасов природных ресурсов современному уровню потребления и их экологически безопасного рационального использования. При этом важнейшим становится регламентация потребления природных ресурсов с целью сохранения и нормального (устойчивого) функционирования природных ландшафтов, экосистем Земли, социально-экономической среды и человеческого общества.

Естественная (природная) среда как объект, используемый человеком для удовлетворения своих потребностей, включает природные объекты, природные ресурсы и природные комплексы (рис. 1).

Отличительные признаки природного объекта:

- естественное происхождение (без участия хозяйственной деятельности человека) как результат эволюции природных систем;
- экологическая взаимосвязь с природной средой, то есть функционирование его в составе естественных экологических систем Земли;
- природная ценность, то есть его способность обеспечивать биологический режим жизни, быть источником материального потребления и социально-экономического благополучия человека, оказывать на него релаксационное, оздоровительно-восстановительное воздействие.



Рис. 1. Составные части природной (естественной) среды [по В. П. Игнатову, А. В. Кокину, 2003]

Fig. 1. Components of the natural environment [according to V. P. Ignatov, A. V. Kokin, 2003]

Человек встал перед фактом необходимости создания собственных ресурсов, покрывая дефицит их производства в природе (создание и наработка ядерного горючего, попытка термоядерного синтеза в условиях Земли, создание искусственных изотопов, получение синтетических материалов, искусственных кристаллов, производство керамики и т. д.). Однако это не соревнование с природой, а условия ее самоорганизации, создавшей структуру человеческого общества, которая выступает не только в роли мощнейшего фактора рассеяния вещества и энергии (металлизация биосферы), но и в роли создателя новых веществ.

Экономический опыт создания человеком новых ресурсов открывает перспективу экономической переоценки стоимости природного потенциала. И такие попытки есть, хотя не все в природе можно оценить с позиции экономики, даже если свойства природы отвечают потребностям человека.

Большинство экспертов и экономистов утверждают в мысли, что благодаря научно-техническому прогрессу сохранится тенденция снижения цен на сырье, если эти ресурсы могут быть заменены другими. Периодичность повышенного спроса на ресурсы сменяется периодическим падением цен не только из конъюнктурных соображений, но и тесно связана с научными достижениями в области их использования. Например, высочайшая цена на уран сменилась ее падением с проведением политики ядерного сдерживания, наработкой нового ядерного горючего в процессе использования урана, а также в связи с решением экологических проблем и т. д. Высокий уровень цен на редкие металлы также зависит от уровня НТР (от использования интеллектуального потенциала человека и инновационных

технологий) и экологических проблем. Опасность в экологическом отношении кадмия, например, привела к снижению спроса его на международном рынке, и цены на этот редкий металл упали.

Проблема истощаемости ресурсов может возникать (и возникает) периодически. Она зависит от многих причин (политических, экономических, экологических, технологических и т. д.), но всякий раз с течением времени теряет свою остроту тогда, когда человек вследствие своего интеллекта выходит из создавшегося положения, опираясь на знание законов природы и благодаря многообразию свойств материального мира. Редкость одного ресурса является следствием незнания свойств другого. Как только это знание появляется, кризис исчезает. Другими словами, редкость имеет свою цену [Казен, 1998], которая периодически меняется и уже не становится редкостью, и поэтому цены на нее падают. Знать законы, которые определяют редкость ресурса, значит определять в будущем экономическую политику безотходного и экологически безопасного природопользования с помощью внедрения инновационных технологий и будущего изменения цен.

Природопользование – взаимоотношения человека с природной средой в процессе его хозяйственной и культурной деятельности. Это наука о рациональном и сбалансированном использовании природных ресурсов; вовлечение территориальных комплексов природной среды и их ресурсов в процесс общественного производства, культуры, отдыха, а также их рациональное и сбалансированное использование, охрана, восстановление и преобразование. Оно является основной формой взаимодействия общества и природы, отражающей многообразие связей хозяйственной деятельности человека с окружающей его природной средой.

Природные ресурсы – естественные образования в различных средах, созданные природой без участия хозяйственной деятельности, но востребованные человеком для своего технологического и социокультурного развития. Это вспомогательные средства развития человечества и часть всей совокупности природных условий существования человечества, важнейшие компоненты окружающей его среды, используемые в процессе общественного производства для удовлетворения материальных, социальных и культурных потребностей.

Близкий по содержанию термин «природные условия», широко используется в отечественной географической литературе. Под природными условиями понимаются природные тела, объекты, явления и процессы, которые существенны для жизни и деятельности человека, но непосредственно не используются им в производственной деятельности или для удовлетворения каких-либо потребностей. В зарубежной литературе, за редким исключением, природные условия входят в состав природных ресурсов.

В современном прочтении ресурсов приходится усомниться в их неисчерпаемости, другими словами, ничего неисчерпаемого нет. Исчерпаема (в перспективе) даже энергия Солнца. Вывод об ограниченности, истощаемости любых ресурсов был одной из причин пересмотра отношения к окружающей среде при переходе к современному этапу охраны природы. Закономерным следствием из вывода об ограниченности ресурсов на Земле является необходимость их охраны (политика сбережения) и по возможности обогащать, воспроизводить (искусственное лесонасаждение, рыборазведение и т. п.), придерживаясь политики этического и эстетического природопользования [Иванов Е. С., Барановский А. В., Брагина Н. В., 2016], [Туарменский В. В., Иванов Е. С., Барановский А. В., 2016].

Наряду с понятием «природные ресурсы», употребляется и термин «антиресурсы». Ими являются силы природы и факторы, мешающие человеку пользоваться природными благами, – естественные процессы, приводящие к стихийным бедствиям (сейсмичность, вулканизм, селе- и лавиноопасность и др.), опасные биологические виды (хищники, возбудители и переносчики опасных заболеваний, паразиты и кровососущие и др.).

Классификация природных ресурсов — система соподчиненных понятий и существенных признаков (физических, химических, энергетических и др.), характеризующих их свойства и область использования человеком. В составе классификационных признаков могут выделяться ресурсы, созданные самой природой (естественные, природные), и искусственные, созданные человеком (рис. 2).

Ресурсы атмосферы (воздушные), включая сжиженный газ жидкого воздуха, выделение кислорода и аргона из воздуха и т. д.; использование энергии ветра, ресурса климата на основе исследования тепловых перемещений воздушных масс под влиянием Солнца, теплового потока Земли, хозяйственной деятельности человека).

Ресурсы гидросферы, Мирового океана (теплоэнергетика Мирового океана, волноприбойная деятельность, энергия приливов и отливов, океанических течений, биотические ресурсы океанов, морей, рек и озер, минеральные и топливно-энергетические ресурсы шельфа и донных отложений океана, включая «черные курильщики», а также элементы и вещества, извлекаемые напрямую из морской воды).

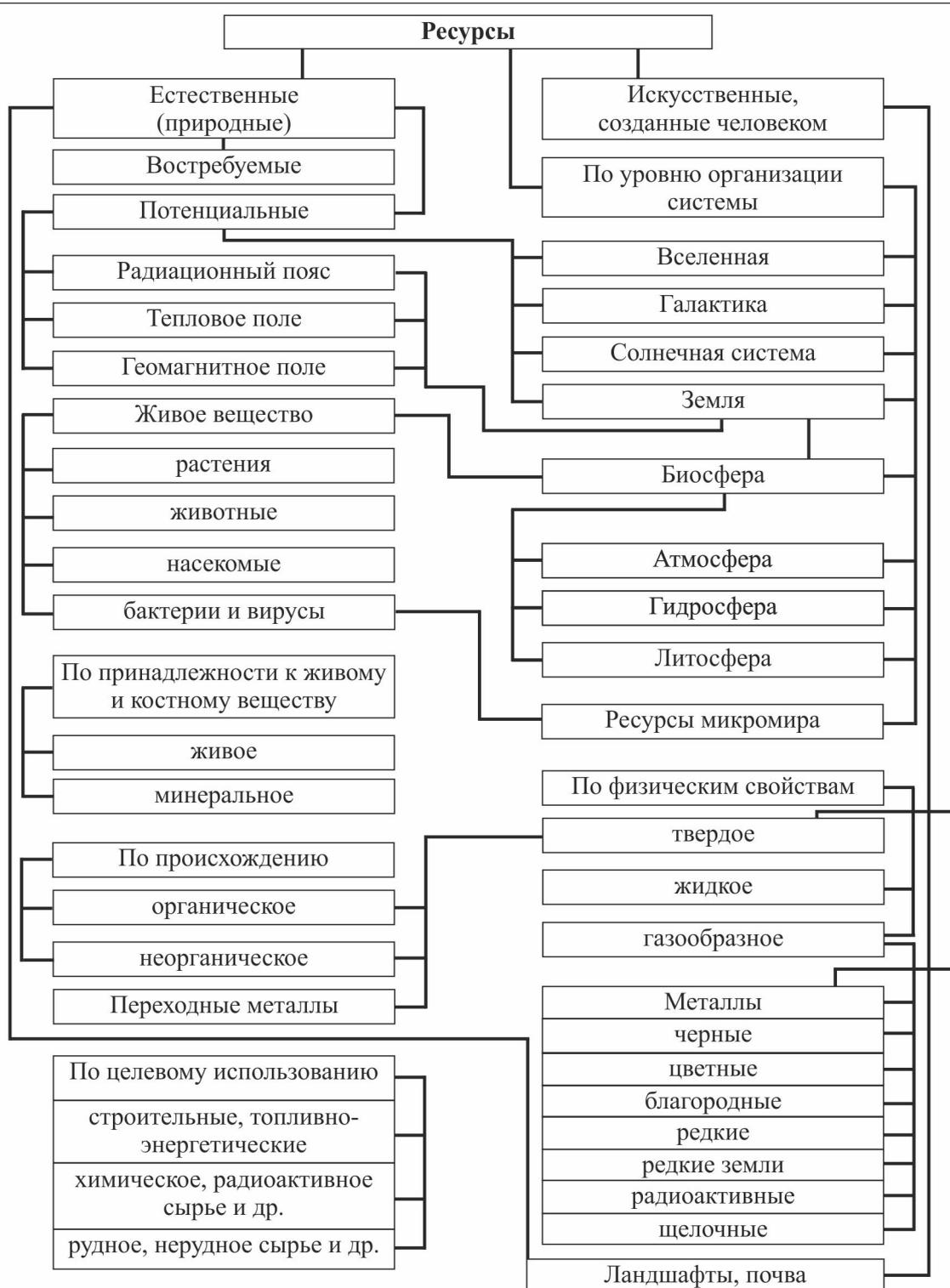


Рис. 2. Классификационные элементы ресурсов [по В. П. Игнатову, А. В. Кокину, 2003]

Fig. 2. Classification elements of resources [according to V. P. Ignatov, A. V. Kokin, 2003]

Ресурсы литосферы — ландшафтные, минеральные, топливно-энергетические, включая геотермальную энергию, а также ресурсы неметаллического сырья, строительных материалов, химического, агрохимического, радиоактивного сырья, драгоценных камней, благородных, редких, редкоземельных металлов, подземных вод, коллекционного материала и др.

Ресурсы биосферы включают только часть атмосферы (от озонового экрана до границы ее с лито- и гидросферой), всю гидросферу, часть литосферы, вещество которой прошло через участие живого вещества. В этой связи ресурсы биосферы представлены не только живым веществом, но и веществом отмерших организмов, которое пошло на создание нефтяных, газовых и конденсатных месторождений, каменного угля, горючих сланцев, графита, торфа в ходе геологических процессов. Сюда относятся и месторождения различных видов агрохимического сырья, металлов, мобилизованных в земной коре в результате их фракционирования под влиянием длительного воздействия живого вещества во взаимодействии с минеральным веществом пород верхней мантии и литосферы. Таким образом, человечество в своей практической деятельности использует в основном ресурсы биосферы.

Природные ресурсы подразделяют также на биотические, абиотические и минеральные. Биотические ресурсы — вирусы, живые организмы (бактерии, грибы, растения, животные) и продукты их жизнедеятельности (биочипы, биосорбенты, наноконъюганты, кисломолочные продукты, пробиотики, биотопливо, гуано, жемчуг, каучук и др.). Абиотические ресурсы — производные химической эволюции (различные соли, примеси в воде Мирового океана, ресурсы черных и цветных металлов океанического дна, железомарганцевых конкреций, минералов шельфа, различных разновидностей камнецветного сырья и т. д.), образованные без участия живого вещества. Хотя для земной коры это подразделение тоже носит условный характер и граница абиотических и биотических процессов в условиях развивающейся биосферы — понятие условное. В этой связи членение ресурсов на органические и неорганические также условно, хотя под органическими понимаются ресурсы, которые состоят из органического вещества живого и химического происхождения. Например, проблема происхождения нефти предусматривает возможность ее образования с учетом углерода живого вещества и при участии неорганического углерода.

Ресурсы Мирового океана представляют собой не только воду и растворенные в ней компоненты (йод, бром, соли сульфатов, карбонатов и др.), биоту, месторождения глубинных частей морского дна, шельфа (полого погружающегося морского дна до глубины 200 м), но и его нетрадиционную энергетику: волноприбойной деятельности, приливов и отливов, морских течений, теплоэнергетику, влияющую на формирование климата планеты.

В основе экологической классификации 2 признака — возобновимость и исчерпаемость. По признаку возобновимости различают возобновимые, невозобновимые, ограниченно возобновимые ресурсы. В традиционных классификациях по признаку исчерпаемости ресурсы делились на исчерпаемые и неисчерпаемые. Поскольку, по современным понятиям, ничего неисчерпаемого в природе нет, ресурсы могут подразделяться лишь по скорости исчерпания: быстро исчерпаемые и медленно исчерпаемые (что относительно).

По возможности самовосстановления и культивирования ресурсы подразделяются на возобновимые (почва, растительность, вода, животный мир) и невозобновимые (полезные ископаемые). Охрана возобновимых ресурсов включает меры, направленные на обеспечение их воспроизводства (поддержание плодородия почв, продуктивности лесных и луговых угодий, регулирование численности популяций и др.). Охрана невозобновимых ресурсов сводится к их экономному расходованию, замене более дефицитных видов менее дефицитными и/или возобновимыми (например, замена моторного топлива на основе нефти спиртом, получаемым из растительного сырья) [Миланова Е. В., Рябчиков А. М., 1986]. При нерациональном использовании возобновимые ресурсы переходят в разряд невозобновимых (почвы, животный мир), либо их возобновление становится долгим и труднодостижимым. Поэтому разделение на возобновимые и невозобновимые дополняется делением на восполнимые (за счет новых источников, новых технологий) и невозполнимые, а также по возможности замены — на заменимые (например, металл может быть заменен пластмассой, натуральные волокна — искусственными и т. д.) и незаменимые (например, атмосферный воздух).

По моменту использования ресурсы подразделяют на реальные (актуальные), такие, которые могут быть использованы при существующих технико-экономических условиях, и потенциальные, то есть такие, которые не могут быть пока вовлечены в использование по техническим причинам или вследствие экономической нецелесообразности, отсутствия экологически приемлемых технологий (ресурсы дейтерия и трития в Мировом океане, полезные ископаемые со сложными горно-геологическими условиями или залегающие в пределах особо охраняемых природных территорий и курортных зон). Граница между реальными и потенциальными ресурсами весьма условна. История развития человечества — это в то же время история превращения все новых потенциальных ресурсов в реальные, что, очевидно, будет продолжаться и далее (вода как термоядерное сырье, железо-марганцевые конкреции на океаническом дне). Параллельно с освоением новых видов ресурсов шел процесс вовлечения в производство

уже известных на новых территориях или в более сложных условиях (например, шельфовые месторождения нефти и газа, руды на больших глубинах, с низким содержанием полезных компонентов и др.).

Элементарные ресурсы по своему составу являются однородными. К ним можно отнести – ресурсы кислорода, водорода, энергию ветра. Комплексные – состоят из нескольких элементов, к ним относятся атмосферный воздух, почва, вода, руда и т. д. Безвозвратно потерянные ресурсы – это ресурсы утраченных видов живых организмов за счет их полного уничтожения человеком. Все экономические классификации указывают на место естественных ресурсов в системе экономических отношений общества. По политико-экономическому значению природные ресурсы подразделяются на:

- источники средств существования людей (предметы потребления);
- источники средств производства (средства труда и предметы труда – металл, лес, реки, уголь).

По их роли в основных сферах народного хозяйства:

- ресурсы материального производства (промышленности, сельского хозяйства);
- ресурсы непродуцированной сферы, в том числе:
 - а) прямого потребления (питьевая вода, дикорастущие растения, промысловые животные);
 - б) непосредственного использования (водоемы для отдыха, климатические ресурсы для лечения).

Таким образом, в своей материальной форме природные условия и природные ресурсы являются природными телами или явлениями, их происхождение, размещение, свойства определяются объективными закономерностями развития природы. Основными критериями включения тех или иных компонентов природы в состав ресурсов являются:

- техническая возможность использования;
- экономическая целесообразность использования;
- уровень изученности.

Итак, все природные условия и ресурсы Земли составляют ее природный потенциал.

Природно-ресурсный потенциал территории (ПРПТ) – совокупность природных ресурсов, объектов, средообразующих факторов и условий (включая климатические, геологические, гидрологические и др.), которые могут быть использованы в процессе хозяйственной или иной деятельности на данной территории [Об утверждении Временного положения о порядке выдачи лицензий на комплексное природопользование. Приказ Минприроды России от 23.12.93 N 273].

К примеру, Российская Федерация располагает практически всем разнообразием природных ресурсов. Другой особенностью природно-ресурсного потенциала России является его крупномасштабность и комплексность. Значительное разнообразие природных ресурсов сочетается с весьма крупными запасами (наличием) некоторых их видов, значительными объемами добычи (изъятия) и использования. Это обуславливает особую роль ее ресурсного потенциала в мировом природно-ресурсном комплексе: 1 место в мире по общей площади территории, по запасам природного газа, железных руд, алмазов, объему запасов воды в озерах, площади лесов и запасам древесины на корню и др. [Аналитический доклад, 2001].

Экологический потенциал территории – часть природно-ресурсного потенциала. ЭПТ – способность природных систем воспроизводить определенный (заданный) уровень качества среды обитания в течение длительного периода времени [Хаустов А. П., 2009].

О перспективах изучения и использования территориальных сочетаний естественных ресурсов (что будет правомерно и в отношении подгрупп внутри отдельных видов ресурсов) утверждал А. А. Минц (1972). Он, обобщая опыт предыдущих исследований, под территориальным сочетанием естественных ресурсов понимает источники ресурсов различного вида, расположенные на определенной целостной территории и объединенные фактическим или перспективным совместным использованием в рамках единого производственно-территориального комплекса. А. А. Минцем рассматривает природно-ресурсный потенциал как суммарную народнохозяйственную ценность того или иного сочетания ресурсов, исчисленных в стоимостном выражении.

Согласно А. Г. Емельянову (2007), «природно-ресурсный потенциал – это предельное количество ПР, которые человек может использовать без подрыва условий своего существования и развития». Величина ППТ – количественное выражение совокупности того или иного сочетания ресурсов. Структура ППТ – соотношение между различными видами ПР внутри данной территории.

Таким образом, важно определить величину потенциала отдельных ресурсов и общего природного потенциала не только для всей изучаемой территории, но и на единицу площади, на душу населения, то есть удельные показатели.

Для каждой территории целесообразно определять величину и структуру природного потенциала в зависимости от практических нужд исследования. Территорией может быть и государство, и любая внутригосударственная единица. Однако есть и объективно существующая территориальная единица,

которая выявляется в ходе изучения величины и структуры общего природного потенциала и его территориальной дифференциации. Речь идет о природно-ресурсном (природном) регионе (районе) разного порядка.

Природно-ресурсный (природный) регион – территория, которая при современной степени ее изученности обладает примерно одинаковыми ресурсами для хозяйственной деятельности человека. Таким образом, природный регион – территория, все части которой при современной степени изученности обладают примерно одинаковыми естественными условиями производства, примерно одинаковой величиной и структурой природного потенциала (отличающейся от величины и структуры потенциала смежных территорий). Следовательно, природный регион предстает как территория, отличающаяся от смежных территорий спецификой (величиной и структурой) своего природно-ресурсного (природного) потенциала, а природное (природно-ресурсное) районирование, в отличие от физико-географического, определяется на основе оценки величины и структуры природно-ресурсного потенциала.

Для районов, обладающих многими видами природных ресурсов, важна комплексная оценка природно-ресурсных сочетаний. В регионах с экстремальными природными условиями добыча и эксплуатация тех или иных уникальных по запасам, концентрации и качеству ресурсов иногда делает невыгодным их разработку при современном уровне техники и существующих технологиях. В связи с этим актуальным является изучение «территориального сочетания естественных ресурсов», под которым понимаются «источники ресурсов различного вида, расположенные на определенной целостной территории и объединяемые фактическим или перспективным совместным использованием в рамках единого производственно-территориального комплекса» [А. А. Минц, 1972]. В такое сочетание включаются все компоненты природной среды – топливно-энергетические, гидро-энергетические, водные, лесные, земельные, рекреационные ресурсы, минеральное сырье, климатические и агроклиматические условия и др.

Природный потенциал не представляет собой чего-то застывшего. Под влиянием деятельности человека он может уменьшаться (изъятие практически невозобновимых природных ресурсов, например минерального сырья) или, наоборот, увеличиваться (улучшение судоходных качеств рек и озер путем создания шлюзов, каналов, землечерпательных работ; увеличение запасов рыбы, например, при репродукции). Это обстоятельство следует постоянно учитывать при определении величины и структуры природного потенциала, особенно на перспективу – при всякого рода долгосрочных хозяйственных прогнозах.

В настоящее время на Земле еще сохранились районы (пустыни, экваториальные леса и пр.), где использование природного потенциала относительно невелико по объему и весьма просто по структуре. В большинстве районов земного шара освоение природного потенциала значительно больше, а структура его использования значительно сложнее. Таким образом, можно судить о степени и структуре использования природного (природно-ресурсного) потенциала той или иной территории.

Степень использования общего природно-ресурсного потенциала можно считать ту его часть, которая вовлечена в настоящее время в производство. Как и весь потенциал, ее можно при желании выразить в баллах или стоимостных единицах, а также в процентах. Это используемая часть потенциала. Разница между потенциалом и его используемой частью показывает степень современного «недоиспользования» всего комплекса природных ресурсов. Природный потенциал, его величина и структура, особенно степень и структура его использования, оказывают сильное воздействие на ход формирования экономических очагов, ядер и, в конечном счете, экономических районов. Таким образом, следует говорить о важной районообразующей роли природного потенциала, ибо использование природных ресурсов – следствие происходящих в той или иной стране или регионе социально-экономических процессов, определяющих ход формирования экономических районов. Использование природного потенциала территории приводит к обмену веществ между природой и обществом и, в итоге, к формированию и развитию тех или иных ресурсных циклов.

Как указывает И. В. Комаров, «под ресурсным циклом понимается совокупность превращений и пространственных перемещений определенного вещества или группы веществ, происходящих на всех этапах использования его человеком (включая его выявление, подготовку к эксплуатации, извлечение из природной среды, переработку, потребление, возвращение в природу) и протекающих в рамках общественного звена общего круговорота данного вещества или веществ на Земле». Каждый ресурсный цикл находится в тесной связи с соответствующим подразделением общественного производства, опирающимся на использование того или иного главного вида естественных ресурсов (энергетических, рудных, лесных и др.) и обрастающим обычно множеством сопутствующих производств на базе разностороннего использования данного ресурса и дополнительно вовлекаемых в производственный процесс природных материалов. При этом ресурсный цикл охватывает не только собственно производственную, но и все остальные стадии обмена веществ между обществом и природой. Ресурсные

циклы, основывающиеся на использовании возобновляемых природных ресурсов (почвенных, растительных), включают также стадию их воспроизводства, которая связана с воздействием человека на соответствующие звенья биологического круговорота веществ. Каждый ресурсный цикл отличается сложным внутренним взаимодействием соответствующих ресурсов и производств. Но многие циклы связаны между собой, формируя единый и чрезвычайно сложный ресурсный процесс внутри отдельных регионов, государств, всего земного шара.

Таким образом, экологическое ресурсоведение как инновационное направление в науке и образовании должно способствовать и поддерживать комплексное устойчивое развитие субъектов Российской Федерации и Республики Беларусь, опираясь на системное непрерывное и интегрированное экологическое образование в странах СНГ. Эти направления (факторы) оказывают прямое воздействие не только на знание населением законов природы и механизмов их действия, но и на эффективность отраслей производства и природоохранных мероприятий, способствующих и определяющих поддерживаемое и экологически безопасное функционирование биосферы Земли в целом.

Библиографические ссылки

1. Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины / гл. ред. А. Ф. Трешников. М., 1988.
2. Иванов Е. С., Кочуров Б. И., Чёрная В. В. Экологическое ресурсоведение. М., 2015.
3. Иванов Е. С., Барановский А. В., Брагина Н. В. Биоэтика эстетического природопользования в контексте сохранения природного и культурного наследия // Российский научный журнал. 2016. № 1 (50).
4. Миланова Е. В., Рябчиков А. М. Использование природных ресурсов и охрана природы. М., 1986.
5. Минц А. А. Экономическая оценка естественных ресурсов (научно-методические проблемы учета географических различий в эффективности использования). М., 1972.
6. Реймерс Н. Ф. Природопользование. М., 1990.
7. Туарменский В. В., Иванов Е. С., Барановский А. В. Современное образование как фактор развития эстетического природопользования // Человеческий капитал. 2016. № 3 (82).
8. Экономика: учебник. М., 2005.

References

1. Treshnikov A. F. (gen. ed.) [Geographical encyclopedic dictionary. Notions and terms]. Moscow, 1998 (in Russ.).
2. Ivanov E. S., Kochurov B. I., Chernaya V. V. [Environmental resource studies]. Moscow, 2015 (in Russ.).
3. Ivanov E. S., Baranovskiy A. V., Bragina N. V. [Bioethics of aesthetic environmental management in the context of the preservation of natural and cultural heritage]. *Russian sci. J.*, 2016. No. 1 (5) (in Russ.).
4. Milanova E. V., Ryabchikov A. M. [The use of natural resources and nature protection]. Moscow, 1986 (in Russ.).
5. Mints A. A. [Economic evaluation of natural resources (scientific and methodological problems of the consideration of geographical differences in the use efficiency)]. Moscow, 1972 (in Russ.).
6. Reymers N. F. [Natural management]. Moscow, 1990 (in Russ.).
7. Tuarmenskiy V. V., Ivanov E. S., Baranovskiy A. V. [Modern education as a factor of the development of aesthetic environmental management]. *Human capital*. 2016. No. 3 (82) (in Russ.).
8. [Economics: textbook]. Moscow, 2005 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 21.11.2017
Received by editorial board 21.11.2017

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 631.147

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ МЕТАБОЛИТОВ РАЗЛИЧНЫХ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ

Т. В. МЕЛЬНИКОВА¹⁾, Л. П. ПОЛЯКОВА¹⁾, А. А. УДАЛОВА¹⁾

¹⁾Обнинский институт атомной энергетики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Студгородок, 1, 249040, Обнинск, Калужская область, Россия

Дано определение потенциальной опасности возможных продуктов радиолиза хлорорганических пестицидов (ХОП) в условиях, когда γ -воздействию подвергаются пестициды в концентрациях, соизмеримых с реальным их содержанием в объектах сельскохозяйственной и пищевой продукции. Сопоставлены результаты радиолиза ХОП (α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, ДДТ и ДДЕ) после воздействия на их модельные растворы γ -излучения в дозе и с мощностью дозы, применяющимися в радиационных технологиях облучения пищевых продуктов, и данные биотеста продуктов пострадиационной среды. Для заданных параметров облучения определена степень устойчивости молекулы ХОП под воздействием радиационного фактора. По результатам хроматографического анализа показана зависимость радиационно-химического выхода ХОП от химической природы соединения и полярности среды облучения. Биологическая активность радиационных метаболитов ХОП изучалась с использованием в качестве тест-объекта инфузории спиростомы (*Spirostomum ambiguum*). По разработанной методике определялся показатель спонтанной

Образец цитирования:

Мельникова Т. В., Полякова Л. П., Удалова А. А. Оценка биологической активности радиационных метаболитов различных хлорорганических пестицидов // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 27–32.

For citation:

Melnikova T. V., Polyakova L. P., Oudalova A. A. Biological activity estimation of radiation metabolites of different organochlorinated pesticides. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 27–32 (in Russ.).

Авторы:

Татьяна Вадимовна Мельникова – кандидат химических наук; доцент кафедры экологии.
Людмила Павловна Полякова – кандидат химических наук, доцент; доцент отделения биотехнологий.
Алла Александровна Удалова – доктор биологических наук; заведующий кафедрой экологии.

Authors:

Tatiana V. Melnikova, PhD (chemistry); associate professor of the department of ecology.
tritel2010@gmail.com
Lyudmila P. Polyakova, PhD (chemistry); associate professor of the department of biotechnology.
polyakova_50@mail.ru
Alla A. Oudalova, doctor of sciences (biology); head of the department of ecology.
oudalova@mail.ru

двигательной активности спироустомы (СДА) в средах, содержащих отдельные ХОП до и после их облучения. О токсичности продуктов радиолитиза ХОП, представленных остатками неразложившихся пестицидов в совокупности с их радиационными метаболитами, судили по изменению СДА относительно контрольного субстрата. Установлена токсичность образовавшихся после облучения веществ, уровень которой соотносится со степенью радиационного разложения пестицида, а также зависит от химического строения его молекулы и полярности среды облучения.

Ключевые слова: хлороорганический пестицид; радиационные метаболиты; радиационно-химический выход; доза и мощность дозы гамма-излучения; радиационная деструкция; биотестирование; инфузория-спироустома; биологическая активность; токсичность.

BIOLOGICAL ACTIVITY ESTIMATION OF RADIATION METABOLITES OF DIFFERENT ORGANOCHLORINATED PESTICIDES

T. V. MELNIKOVA^a, L. P. POLYAKOVA^a, A. A. OUDALOVA^a

^aObninsk Institute for Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University MEPhI,
Studgorodok, 1, 249040, Obninsk, Kaluga region, Russia
Corresponding author: tritel2010@gmail.com

The study was aimed at determination of the potential danger of organochlorinated pesticides (OCP) radiolysis products under conditions when pesticides at very low concentrations, similar to their actual content in agricultural and food products, are exposed to γ -radiation. Data obtained at OCP radiolysis (α -HCH, γ -HCH, DDT and DDE) at irradiation of the pesticides model solutions with dose and dose rate usually applied for radiation processing of food were compared to findings from toxicity testing of postirradiation products with bioassay. OCP molecules stability was determined at irradiation conditions studied. Chromatographic analysis showed that the OCP radiation-chemical yield was dependent on pesticides chemical nature and the polarity of the irradiated medium. Biological activity of OCP radiation metabolites was studied with infusoria spirosteomy (*Spirostomum ambiguum*) as a test-species. Spontaneous motor activity (SMA) of infusoria spirosteomy in media containing individual OCP before and after irradiation was estimated, according to a developed approach. Toxicity of OCP radiolysis products (remains of undegraded pesticides and their radiation metabolites) was assessed through an alteration of the SMA comparing to control value. It was found that the toxicity of the substances formed after irradiation was dependent on the pesticide degradation degree as well as on their chemical nature and the polarity of the irradiated medium.

Key words: organochlorinated pesticide; radiation metabolites; radiation-chemical yield; dose and dose rate of irradiation; radiation degradation; bioassay; infusoria spirosteomy; biological activity; toxicity.

Введение

В настоящее время для обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья с различными целями (ингибирование ростовых процессов, пастеризация, стерилизация и дезинсекция) применяют ионизирующее излучение. Облучение мяса, масла, зерна, птицы, рыбы и других съестных припасов осуществляется в соответствии с национальными и международными нормативными документами [1, с. 28; с. 180–185], что обеспечивает безопасность и высокое качество радиационно-обработанной продукции. Однако из-за глобального распространения стойких органических загрязнителей (СОЗ) отдельные продукты питания могут содержать эти вещества в различных сочетаниях и концентрациях [2]. По нормативным требованиям количество таких СОЗ, как хлороорганические пестициды (ХОП) в продуктах питания, лимитировано значениями их ПДК [3]. Остатки этих веществ в облучаемых биообъектах могут стать реальным источником особого вида загрязнения, возникающего в результате одновременного воздействия радиации на биологическую матрицу и ХОП. Изучению этого вторичного загрязнения посвящены ранее опубликованные нами работы [4–6].

Полученные в последнее время данные о радиационной нестабильности пестицидов (под действием электронного и γ -излучения) свидетельствуют о возможности применения облучения с целью их утилизации [7–10]. Таким образом, вопрос безопасности радиационных метаболитов этих загрязняющих веществ приобретает экологическую значимость.

В работе [5] отмечается, что биологическая активность продуктов радиолитиза ХОП может быть следствием совместного воздействия различных компонентов дисперсной системы «матрица–загрязнитель». Показано, что при воздействии γ -излучения на раствор α -ГХЦГ ($C = 0,1 \text{ мкг/мл}$, доза 10 кГр , мощность дозы $0,026 \text{ кГр/мин}$) $42,5 \%$ его молекул остаются без изменения, $25,9 \%$ подвергаются

изомеризации и дехлорированию, а 31,6 % превращаются в промежуточные соединения или иные разложившиеся формы, состав которых пока не определен.

Из литературных источников следует, что на степень разложения ХОП и состав их радиационных метаболитов (наряду с другими факторами), определенное влияние оказывают строение молекулы пестицида, а также физическое состояние [11] и химический состав матрицы [12; 13] объекта облучения.

Цель настоящего исследования – изучение в сравнительном аспекте радиационной стабильности и биологической активности различных ХОП до и после их облучения в модельных растворах, отличающихся полярностью растворителя.

Материалы и методы исследования

Из государственных стандартных образцов ХОП (α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, ДДТ и ДДЕ) [14] в гексане и изопропаноле разбавлением были приготовлены исходные растворы пестицидов с концентрацией ($C = 0,01, 0,02, 0,03, 0,05, 0,1$ мкг/мл), сопоставимой со значениями ПДК ХОП в пищевых продуктах и поверхностных водах, а также с концентрацией $C=1,0$ мкг/мл, превышающей те же уровни ПДК [15]. Растворы ХОП облучали на установке «Исследователь» (γ -излучение, 60Co) в дозе (D) 10 кГр с мощностью дозы (D') $0,43$ Гр/с и $1,35$ Гр/с.

О стабильности соединений при воздействии на них γ -излучением судили по величине радиационно-химического выхода (G) вещества, который определяли как изменение концентрации облученного продукта, приходящегося на единицу поглощенной дозы:

$$G(-\text{ХОП}) = \Delta C \cdot D^{-1},$$

где $G(-\text{ХОП})$ – радиационно-химический выход разложения, (молек)/ 100эВ , в дальнейшем обозначаемый G ; ΔC – изменение концентрации исходного продукта, мкг/мл (моль/л); D – доза гамма-излучения, эВ .

На основе исследований растворов α -ГХЦГ с различной концентрацией определяли тип чувствительности организма, примененного в рассмотренном ниже биотесте. Биологическую активность продуктов радиолитического разложения пестицидов сравнивали на примере облучения растворов α -ГХЦГ и ДДЕ (различающихся по строению молекулы) с концентрацией $0,03$ мкг/мл в одном и том же растворителе и в разных по полярности растворителях (гексане и изопропаноле).

ХОП из исходных и облученных растворов последовательно переводили в спиртовую, а затем в водно-спиртовую среду, пригодную для биологических испытаний. Оставшиеся после удаления растворителя при $T = 20$ °С вещества растворяли в этаноле (с учетом растворимости в нем пестицида), к которому добавляли дистиллированную воду. После испытаний различных соотношений за оптимальное было принято – спирт:вода (1:92). Концентрацию α -ГХЦГ и ДДЕ в растворах до и после их облучения, а также в приготовленных из них спиртовых растворах определяли методом газожидкостной хроматографии на газовом хроматографе «Модель 3700». Рабочие параметры прибора и условия проведения анализа приведены в работе [6].

В качестве биотеста для сравнительной оценки активности радиационных метаболитов ХОП, образовавшихся в растворе гексана, была исследована тест-реакция инфузории спиростомы по изменению такого функционального показателя ее состояния, как уровень спонтанной двигательной активности (СДА) [16; 17]. Оценку СДА проводили методом, аналогичным методу «открытого поля» [18], учитывая, что отклонение показателя в ту или иную сторону от контроля (стимуляция или угнетение) одинаково свидетельствует о наличии биологического действия загрязнителя на спиростому. Количественной мерой СДА инфузории служило число пересечений ею линии визира окуляра микроскопа за 1 мин. В процессах культивирования тест-объекта измерения и оценки СДА руководствовались методикой, предлагаемой в работе [18]. Предварительно были получены сопоставимые значения показателя СДА спиростомы в инкубационной среде (в соответствии с указанной методикой) и экспериментально установленной водно-спиртовой среде. Это определило возможность приготовления растворов ХОП для биотеста. Показатель СДА спиростомы в водно-спиртовой среде был принят в качестве контрольного.

Результаты исследования и их обсуждение

Тест-реакция изучалась в четырех постановочных сериях и регистрировалась с помощью стереоскопического микроскопа (бинокуляр, МБС-10) с плексигласовой камерой для инфузорий (диаметром 6 мм и глубиной $0,4$ мм, объемом $0,001$ см³), секундомера и лабораторного счетчика. В каждой серии испытывали по 13 особей инфузории. Статистическую обработку данных проводили с использованием программных пакетов Microsoft Excel 2010 и OriginPro 8.6. Достоверность отличий в вариантах оценивали с помощью параметрического критерия Стьюдента.

Результаты определения G представлены в виде диаграммы на рисунке. Из диаграммы следует, что высокие значения G наблюдаются в системах обоих растворителей, что свидетельствует о протекании в них эффективных процессов деградации растворенного вещества. Значения G в растворителе изопропанол выше, чем в гексане. Данная закономерность характерна при изменении концентраций от 0,01 мкг/мл до 1 мкг/мл для каждого пестицида.

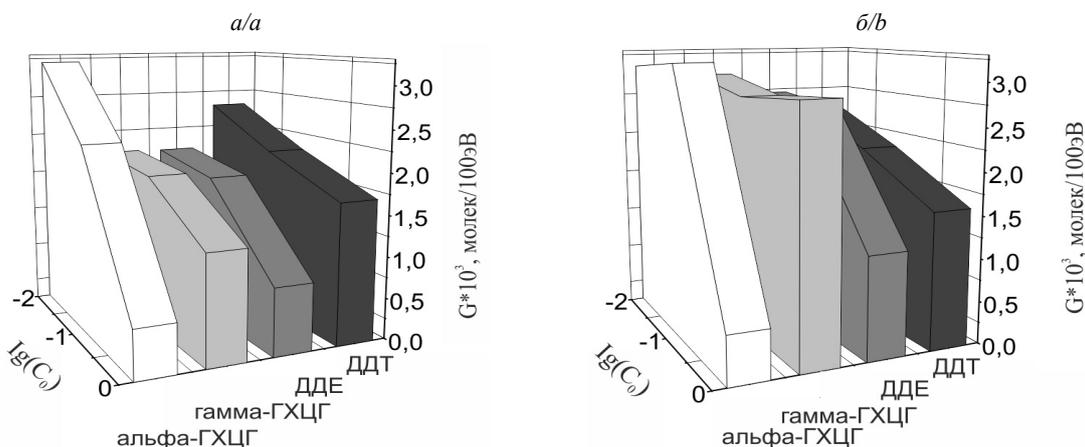


Рис. Радиационно-химический выход разложения ХОП в гексане (а) и 2-пропаноле (б) после облучения в дозе 10 кГр с мощностью дозы 0,43 Гр/с

Fig. Radiation-chemical yield at OCP degradation in hexane (a) and 2-propanol (b) after irradiation at dose of 10 kGy with dose rate of 0,43 Gy/sec

Влияние полярности среды на радиационную стабильность ХОП, по-видимому, определяется особенностями механизмов радиационно-химических превращений их молекул. При облучении в полярной среде, наряду с радикальным механизмом разрушения химических связей в молекулах пестицидов, возрастает деструктивное воздействие на них сольватированных электронов [19]. Следует отметить также влияние стереоструктуры молекулы на ее радиационную стабильность, что особенно проявляется в растворах с максимальными концентрациями вещества. Так, высокое значение $G_{\gamma\text{-ГХЦГ}}$ по сравнению с другими пестицидами (явно выраженное для изопропанольного раствора), можно объяснить аксиальным расположением атомов С1 в молекулах $\gamma\text{-ГХЦГ}$, которое энергетически менее выгодно, чем пространственное положение остальных атомов С1 в молекулах исследуемых пестицидов [6].

Биологическую активность продуктов, образовавшихся после радиационного воздействия на растворы $\gamma\text{-ГХЦГ}$ и ДДЕ, сравнивали по показателю изменений СДА спиростомы, определенным по результатам биотеста. На основании данных об изменении СДА спиростомы в водно-спиртовых растворах $\alpha\text{-ГХЦГ}$ различных концентраций (до их облучения) был установлен III тип чувствительности тест-организма на присутствие загрязнителя. Вслед за немедленной, сильной реакцией у спиростомы наблюдалось ее затухание, сначала резкое, затем постепенное. Изменения СДА инфузории для растворов ХОП ($C=0,03$ мкг/мл) на основе отличающихся по полярности растворителей представлены в таблице.

Таблица

Изменение показателя СДА спиростомы в водно-спиртовых растворах ХОП до и после облучения ($D = 10$ кГр, $D' = 1,35$ Гр/с)

Table

Change in SMA index of spirostomy in OCP water-alcoholic solutions before and after irradiation ($D = 10$ kGy, $D' = 1,35$ Gy/sec)

№ серии	Изменения СДА относительно контроля, %					
	до облучения ХОП		после облучения			
	$\alpha\text{-ГХЦГ}^*$	ДДЕ*	$\alpha\text{-ГХЦГ}$		ДДЕ	
			гексан*	2-пропанол*	гексан*	2-пропанол*
1	138,0±9,1	160,0±18,1	60,0±5,2	66,3±4,8	145,1±13,2	81,2±6,4
2	133,0±10,4	168,3±13,6	58,3±6,2	64,4±5,2	150,0±14,3	81,3±7,3
3	147,0±12,1	168,1±15,4	70,0±7,3	66,1±5,1	138,8±14,5	77,8±6,8
4	152,0±10,7	170,4±16,7	63,0±5,9	66,2±4,9	136,5±12,2	76,5±6,7
<x>	141,8±10,5	166,7±16,0	62,0±6,1	65,8±5,0	142,6±13,6	79,2±6,8

*Отличия опыта от контроля достоверны при $p < 0,05$.

Как следует из таблицы, в растворах до облучения для α -ГХЦГ и ДДЕ установлен эффект стимуляции. В растворах облученных пестицидов по сравнению с необлученными в поведении спиростомы наблюдаются отличия. Для α -ГХЦГ в гексановых растворах умеренный (20–50 % отклонения от контроля) эффект стимуляции сменяется на высокий (более чем 50 % отклонения от контроля) эффект подавления. Для ДДЕ в гексановых растворах высокий показатель стимуляции снижается до умеренных значений. В изопропанольных растворах для обоих ХОП стимуляция исчезает и появляется ее угнетение. При этом снижение показателя стимуляции для α -ГХЦГ происходит до того же значения, что и в гексановом растворе, а для ДДЕ отмечается более резкая смена состояний спиростомы (от высокого уровня стимуляции до высокого уровня угнетения).

Таким образом, независимо от строения молекулы пестицида по данным биотеста регистрировалось снижение первоначальной активности спиростомы для облученных растворов на основе одного и того же растворителя. Более резкие изменения наблюдались для α -ГХЦГ. Полярность среды влияла на подавление двигательной способности спиростомы только в случае с ДДЕ.

Сопоставлением данных биотестов с результатами определения G (рис.) пестицидов можно объяснить изменения в поведении спиростомы. Так, резкая смена стимуляции спиростомы на угнетение, установленной для α -ГХЦГ в любой по полярности среде, связана, по-видимому, с максимальными значениями показателя G . Косвенно это свидетельствует о повышении опасности облученной среды, так как исходный пестицид вызывает умеренное отклонение от нормального поведения спиростомы, а его совокупность с радиационными метаболитами усиливает ответную реакцию инфузории до высокого уровня. Там, где показатель $G(\alpha$ -ГХЦГ) одинаков, установлено равное подавление двигательной способности спиростомы. Для отличающегося по значениям G пестицида ДДЕ отмечаются заметные расхождения в изменении СДА инфузории. Можно предположить, что в первом случае под действием радиации образуются близкие по строению и токсичности продукты разложения пестицида, во втором – различия в составе облученного субстрата будут определять характер его биологической активности.

Приведенные выше изменения состояния спиростомы повторялись в растворах облученных ХОП, исходные концентрации которых отличались на порядок. Однако на фоне слабой реакции инфузории для высоких уровней концентраций этот эффект был слабо выражен.

Заключение

По результатам примененного биотеста можно сделать следующие выводы:

- токсичность субстрата после воздействия на ХОП радиации будет определяться строением молекулы исходного пестицида, ее радиохимической устойчивостью, а также качественным составом продуктов ее превращения;
- полярность среды образования радиационных метаболитов ХОП влияет на степень и характер изменения их биологической активности;
- можно предположить, что для изученных условий облучения радиационные метаболиты в сочетании с остатками неразложившихся молекул ХОП не только не снижают исходную токсичность среды, вызванную первичным загрязнением, но значительно осложняют ситуацию с ее безопасностью.

Библиографические ссылки

1. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / под общ. ред. Г. В. Козьмина, С. А. Гераскиной, Н. И. Санжаровой. – Обнинск, 2015.
2. Ревич Б. А. Стойкие органические загрязнители в местных продуктах питания: риски для здоровья населения. Самара, 2014.
3. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов, (СанПиН 2.3.2.2401-08). Постановление № 43 от 16.07.2008. Зарегистрировано в Министерстве юстиции РФ 31.07.2008, рег. № 12059. Доступ по рабочим дням с 20-00 до 24-00 (время московское) из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Мельникова Т. В., Полякова Л. П., Козьмин Г. В. Основные задачи экологической оценки свойств вторичных продуктов, возникающих в результате облучения загрязненной пищевой продукции // Ядерная энергетика. 1999. № 1. С. 66–74.
5. Мельникова Т. В., Полякова Л. П., Козьмин Г. В. Химико-токсикологическая характеристика продуктов превращения хлорорганических пестицидов, образующихся при воздействии интенсивных потоков гамма-излучения // Радиационная биология и радиоэкология. 2003. Т. 43, № 6. С. 697–705.
6. Mel'nikova T. V., Polyakova L. P., Oudalova A. A. Assessment of organochlorine hydrocarbons transformation in contaminated agricultural products and foodstuffs under gamma-radiation // J. of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 784. DOI: 10.1088/1742-6596/784/1/012036.
7. Duarte C. L., Mori M. N., Kodama Yasko, Oikawa H., Sampa M. H. O. Decontamination of pesticide packing using ionizing radiation. Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares. IPEN-CNEN/SP. 2007.
8. Haji-Saeid M., Sampa M. H. O., Chmielewski A. G. Radiation treatment for sterilization of packaging materials // J. Radiat. Phys. Chem. 2007. Vol. 76. P. 1535–1541.
9. Chowdhury M. A. Z., Jahan I., Karim N., Alam M. K., et al. Determination of Carbamate and Organophosphorus Pesticides in Vegetable Samples and the Efficiency of Gamma-Radiation in Their Removal. BioMed Research International. 2014. Vol. 2014. Article ID 145159. 9 pages. DOI: 10.1155/2014/145159.

10. Мельникова Т. В., Полякова Л. П., Лукьянова Н. Н. Исследование последствий радиационного воздействия на линдан и действующее вещество препарата «гексахлоран дуст» // Ядерная энергетика. 2017. № 1. С. 107–115.
11. Lepine F. L. Effects of ionizing radiation on pesticides in a food irradiation perspective: A bibliographic review // J. Agric. Food Chem. 1991. Vol. 39. P. 2112–2118.
12. Lepine F. L., Brochu F., Milot S., et al. Gamma-irradiation-induced degradation of DDT and its metabolites in organic solvents. J. Agric. Food Chem. 1994. Vol. 42. P. 2012–2016.
13. Lepine F. L., Brochu F., Milot S., et al. Gamma-irradiation-induced degradation of organochlorinated pollutants in fatty acid esters and in cod. J. Agric. Food Chem. 1995. Vol. 43. P. 491–494.
14. Линдан (гамма-ГХЦГ) – Государственный стандартный образец (ГСО 7889-2001); ГХЦГ-альфа – (ГСО 8888-2007); 4,4-ДДЭ – (ГСО 8893-2007); 4,4-ДДТ (ГСО 8892-2007), [Электронный ресурс]. 2017. URL: http://www.pchk.ru/shop/UID_3172.html (дата обращения: 10.10.2017).
15. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21.10.2013 No. 55 (с изм. от 13.07.2016) «Об утверждении ГН 1.2.3111-13 «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)» Зарегистрировано в Минюсте России 12.11.2013 N 30362). Доступ по рабочим дням с 20-00 до 24-00 (время московское) из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
16. Сарapultseva E. I., Tushmalova N. A. Поведенческая активность простейших: место в иерархии критериев биотестирования окружающей среды // Вестн. Московск. ун-та. 2011. № 3. С. 3–6.
17. Tushmalova N. A., Lebedeva N. E., Igolkina Yu. V., Sarapultseva E. I. Инфузория спиростома как индикатор загрязнения водной среды // Вестн. Московск. ун-та. 2014. Сер. 16. Биология. С. 27–30.
18. Tushmalova N. A., Danilchenko U. P., Brestkina N. D. Метод биотестирования природных и сточных вод по уровню спонтанной двигательной активности спиростомы. М., 1998.
19. Пикаев А. К. Современная радиационная химия. Радиолит газы и жидкостей. М., 1986.

References

1. Koz'min G. V., Geraskin S. A., Sanzharova N. I. [eds]. [Radiation technologies in agriculture and food industry]. Obninsk, 2015 (in Russ.).
2. Revich B. A. [Persistent Organic Pollutants in Local Food: Risks to Public Health]. Samara, 2014 (in Russ.).
3. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products, (SanPiN 2.3.2.2401-08). Resolution No. 43 of 16.07.2008. Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on July 31, 2008, reg. 12059. Access on working days from 20-00 to 24-00 (Moscow time) from the legal-system «ConsultantPlus» (in Russ.).
4. Melnikova T. V., Polyakova L. P., Koz'min G. V. [Main objectives of the ecological estimation of properties of secondary substances formed after contaminated food irradiation]. *Yadernaya Energetika*. 1999. No. 1. P. 66–74 (in Russ.).
5. Melnikova T. V., Polyakova L. P., Koz'min G. V. [Chemical-Toxicological Property of Organochlorinated Pesticides Transformation Products Formed under Effect Intensive Fluxes of γ -Irradiation]. *Radiac. Biol. i Radioekol.* 2003. Vol. 4, No. 6, P. 697–705 (in Russ.).
6. Mel'nikova T. V., Polyakova L. P., Oudalova A. A. Assessment of organochlorine hydrocarbons transformation in contaminated agricultural products and foodstuffs under gamma-radiation. *J. of Physics: Conference Series*, 784 (2017). DOI:10.1088/1742-6596/784/1/012036.
7. Duarte C. L., Mori M. N., Kodama Yasko, et al. Decontamination of pesticide packing using ionizing radiation. *Instituto de Pesquisas Energe'ticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP*, 2007.
8. Haji-Saeid M., Sampa M. H. O., Chmielewski A. G. Radiation treatment for sterilization of packaging materials. *J. Radiat. Phys. Chem.* 2007. Vol. 76. P. 1535–1541.
9. Chowdhury M. A. Z., Jahan I., Karim N., Alam M. K., et al. Determination of Carbamate and Organophosphorus Pesticides in Vegetable Samples and the Efficiency of Gamma-Radiation in Their Removal. *BioMed Research International*, 2014. Vol. 2014, Article ID 145159, 9 pages. DOI: 10.1155/2014/145159.
10. Mel'nikova T. V., Polyakova L. P., Luk'yanova N. N. [A study of the ionizing radiation impact on lindane and the active substance of «hexachlorane dust» chemical]. *J. Yadernaya energetika*. 2017. No. 1. P. 107–115 (in Russ.).
11. Lepine F. L. Effects of ionizing radiation on pesticides in a food irradiation perspective: A bibliographic review. *J. Agric. Food Chem.* 1991. Vol. 39. P. 2112–2118.
12. Lepine F. L., Brochu F., Milot S., et al. Gamma-irradiation-induced degradation of DDT and its metabolites in organic solvents. *J. Agric. Food Chem.* 1994. Vol. 42. P. 2012–2016.
13. Lepine F. L., Brochu F., Milot S., et al. Gamma-irradiation-induced degradation of organochlorinated pollutants in fatty acid esters and in cod. *J. Agric. Food Chem.* 1995, Vol. 43, P. 491–494.
14. Lindan (gamma-HCH) – State standard sample (GSO 7889-2001); HCH-Alfa – (GSO 8888-2007); 4,4-DDE – (GSO 8893-2007); 4,4-DDT (GSO 8892-2007). [Electronic resource]. 2017. URL: http://www.pchk.ru/shop/UID_3172.html (data of access: 10.10.2017).
15. [Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 55 of October 21, 2013 (as amended on July 13, 2016) «On the approval of GN 1.2.3111-13» Hygienic standards for the content of pesticides in environmental objects (list) «Registered in the Ministry of Justice of Russia 12.11.2013 N 30362) Access on working days from 20-00 to 24-00 (Moscow time) from the legal system «ConsultantPlus» (in Russ.).
16. Sarapultseva E. I., Tushmalova N. A. [Behavioral activity of protozoa: a place in the hierarchy of criteria for environmental biotesting]. *Vestn. of the Moscow Univ.* 2011. No. 3, P. 3–6 (in Russ.).
17. Tushmalova N. A., Lebedeva N. E., Igolkina Yu. V., et al. [Infusoria spirostoma as an indicator of pollution of the aquatic environment]. *Vestn. of the Moscow Univ.* 2014. Ser. 16. Biology. P. 27–30 (in Russ.).
18. Tushmalova N. A., Danilchenko U. P., Brestkina N. D. [Method of biotesting of natural and waste waters according to the level of spontaneous motor activity of spirostomy]. Moscow, 1998. P. 24–26 (in Russ.).
19. Pikaev A. K. [Modern Radiation Chemistry. The radiolysis of gases and liquids]. Moscow, 1986 (in Russ.).

УДК 621.039:502.1

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

И. Г. ТАНАНАЕВ¹⁾, В. А. АВРАМЕНКО¹⁾

¹⁾Дальневосточный федеральный университет, пос. Аякс, 10, 690922, о. Русский, Владивосток, Россия

Дальний Восток – форпост Российской Федерации в Азиатско-тихоокеанском регионе, основными современными приоритетами которого являются развитие промышленно-хозяйственной и социально-экономической деятельности региона в условиях освоения сырьевых ресурсов, создание новых рабочих мест и увеличение народонаселения в среде безопасного и комфортного проживания с гарантией обеспечения экологической и радиационной безопасности. Ученые из ДВФУ и ДВО РАН за счет проведения систематических исследований и практических разработок обеспечили научное сопровождение процессов окончательного удаления накопленных ЖРО, очистки и реабилитации загрязненных радионуклидами и токсичными элементами природных объектов. Это позволило ликвидировать потенциальную угрозу экологических и техногенных аварий на Дальнем Востоке. Синтезированы и внедрены новые магнитные материалы на основе высокопористых природных минералоподобных носителей, резорцинформальдегидные смолы, количественно извлекающие опасные радионуклиды из морской воды. Разработана технология с активным гидродинамическим режимом для переработки ЖРО, содержащих морскую воду и нефтепродукты. На АО «ДВЗ «Звезда» создаются опытно-промышленные установки по производству сорбционно-реагентных материалов по утилизации сложных ЖРО. Таким образом, преодолев ядерное наследие в Приморье, учеными из ДВФУ и ДВО РАН удалось обеспечить радиационную безопасность на предприятиях с использованием атомной энергии.

Ключевые слова: Дальний Восток; радиоэкология; атомные подводные лодки; ядерно-энергетические установки; утилизация, отработавшее ядерное топливо; жидкие радиоактивные отходы; радиационно-опасные объекты; наноструктурированные неорганические сорбенты; сорбционно-реагентные технологии; морская вода; радионуклиды; стронций-90; цезий-137.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Постановление Правительства № 218 от 9 апреля 2010 г., договор № 02.G25.31.0166 от 1 декабря 2015 г. между акционерным обществом «Дальневосточный завод «Звезда» и Министерством образования и науки Российской Федерации).

RADIATION SECURITY OF THE FAR EAST: PROBLEMS AND SOLUTIONS

I. G. TANANAEV^a, V. A. AVRAMENKO^a

^aFar Eastern Federal University, Ajax, 10, 690922, Russky Island, Vladivostok, Russia

Corresponding author: geokhi@mail.ru

Образец цитирования:

Тананаев И. Г., Авраменко В. А. Радиационная безопасность дальнего востока: проблемы и решения // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 33–39.

For citation:

Tananaeva I. G., Avramenko V. A. Radiation security of the far east: problems and solutions. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 33–39 (in Russ.).

Авторы:

Иван Гундарович Тананаев – доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН; директор академического департамента ядерных технологий Школы естественных наук (в ДВФУ), главный научный сотрудник (ИХ ДВО РАН).

Валентин Александрович Авраменко – доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН; заместитель директора Школы естественных наук (ДВФУ), начальник отдела сорбционных процессов (ИХ ДВО РАН).

Authors:

Ivan G. Tananaev, doctor of science (chemistry), professor, corresponding member of RAS; director of nuclear technology department of the school of natural sciences (FEFU); chief scientific researcher (ICh FEB RAS).

geokhi@mail.ru

Valentin A. Avramenko, doctor of science (chemistry), professor, corresponding member of RAS; deputy director of the school of natural sciences (FEFU), head of the department of sorption processes (THEIR FEB RAS).

chemi@ich.dvo.ru

The Far East is an outpost of the Russian Federation in the Asia-Pacific region, the main modern priorities of which are the development of the industrial and economic and social and economic activities of the region in terms of developing raw materials, creating new jobs and increasing population in safe and comfortable environments, and radiation safety. Scientists from FEFU and FEB RAS, through systematic studies and practical developments, provided scientific support for the final disposal of accumulated LRW, treatment and rehabilitation of natural objects contaminated with radionuclides and toxic elements, which helped to eliminate the potential threat of ecological and technogenic accidents in the Far East. New magnetic materials based on highly porous natural mineral-like carriers, resorcinol-formaldehyde resins, quantitatively extracting dangerous radionuclides from sea water, have been synthesized and introduced. A technology with an active hydrodynamic regime for processing LRW containing sea water and oil products has been developed. Experimental-industrial plants for the production of sorption-reagent materials, for the utilization of complex LRW are being set up at JSC «DVZ «Zvezda». Thus, having overcome nuclear legacy in Primorye, scientists from FEFU and FEB RAS managed to ensure radiation safety at enterprises using atomic energy.

Key words: Far East; radioecology; nuclear submarines; nuclear power plants; utilization, spent nuclear fuel; liquid radioactive waste; radiation-hazardous objects; nanostructured inorganic sorbents; sorption-reagent technologies; sea water; radionuclides; strontium-90; cesium-137.

Acknowledgment. The work is performed with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Government decree No. 02G25.31.0166 dated December 1, 2015, between stock company «Dalnevostochny Zavod «Zvezda» and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation).

Введение

Дальний Восток является форпостом Российской Федерации в Азиатско-тихоокеанском регионе (АТР). Основные современные приоритеты Дальнего Востока сегодня – это развитие промышленно-хозяйственной и социально-экономической деятельности региона в условиях освоения сырьевых ресурсов, в том числе биоресурсов; создание новых рабочих мест и увеличение народонаселения в среде безопасного и комфортного проживания. В результате систематической правительственной поддержки Дальнего Востока город Владивосток и 15 районов Приморского края были наделены статусом открытого порта, ведется планомерная работа по экономическому развитию региона. Вместе с тем расширение экономической свободы и предоставление для отечественных инвесторов лучших условий для ведения бизнеса возможно только в условиях обеспечения экологической и радиационной безопасности территории Приморского края.

Основными радиационными объектами Дальнего Востока являются атомные подводные лодки (АПЛ) с ядерно-энергетическими установками (ЯЭУ); надводные корабли (НК) с ЯЭУ; суда атомного технологического обслуживания (АТО), в том числе плавучие мастерские (ПМ), хранившие ранее отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) и радиоактивные отходы (РАО); береговые технические базы Военно-Морского Флота (БТБ ВМФ), судоремонтные заводы, где производится утилизация АПЛ, НК и АТО, пункт временного хранения реакторных отсеков на плаву (ПВХ), береговой пункт длительного хранения РАО и аварийных АПЛ, а также радиоизотопные термоэлектрические генераторы и иные источники ионизирующего излучения (ИИИ).

Первоочередные задачи гарантированного обеспечения их радиационной безопасности – это утилизация АПЛ и НК с ЯЭУ; реабилитация бывших БТБ ВМФ, включая ПВХ; вывод ОЯТ АПЛ на переработку; утилизация накопленных РАО; обращение с радиационно-опасными объектами без утилизации. Кроме того, в связи с опасностью использования ИИИ, радиоактивных материалов и объектов с ЯЭУ в террористических целях, потребовалось решать задачи усиления физической защиты, осуществления радиационного мониторинга и аварийного реагирования. Ниже приведены основные результаты, приведшие к достижению радиационной безопасности территории Дальнего Востока.

Результаты исследования и их обсуждение

Утилизация АПЛ. Вывод АПЛ из состава ВМФ с последующей комплексной утилизацией начался в 1986 г. Предполагалось завершить вывод всех АПЛ устаревших проектов, отслуживших установленные сроки, в течение 5–6 лет. В ходе работы к 1990-м гг. XX века стало ясно, что промышленность не готова к выполнению поставленных задач, и утилизационные работы превратились в задачу государственного масштаба. Лавинообразное накопление в процессе утилизации АПЛ и НК большого числа радиационно-опасных объектов (ЯЭУ, ОЯТ, РАО) представляло угрозу для окружающей среды. К концу 1997 г. во всех пунктах отстоя находилось 157 АПЛ, значительная часть которых хранились с ОЯТ на борту, а более 30 имели повреждения с потерей плавучести. Скорость утилизации составляла 2 АПЛ в год, а стоимость ее содержания 4–5 млрд руб. в год (в ценах 1997–1998 гг.). Объемы же накопленных

ОЯТ и РАО превышали возможности мест хранения, при этом состояние объектов хранения не соответствовало изменившимся требованиям безопасности. С учетом активного вывода АПЛ из состава ВМФ можно было оценить срок завершения процесса от 40 лет [1]. С 1998 г. Постановлением Правительства Российской Федерации все функции государственного заказчика по комплексной утилизации АПЛ и техперсонала предприятия периметра ГК «Росатом», ученых Дальневосточного отделения Российской академии наук и вузов поставленные задачи были выполнены полностью. К 2017 г. из 203 выведенных из состава АПЛ ВМФ 197 уже утилизировано (с выгрузкой ОЯТ из реакторов), две находятся в стадии утилизации. На Дальнем Востоке начаты работы по утилизации большого атомного разведывательного корабля «Урал» и судна АТО «ПМ-124».

Обращение с реакторными отсеками. Обеспечение долговременного хранения реакторных отсеков списанных АПЛ – одно из важных направлений работ по ядерной и радиационной безопасности, связанных с ликвидацией опасного наследия. Технология их переработки на Дальнем Востоке состояла в герметизации, покрытии защитным составом и транспортировке в бухту «Разбойник» для контролируемого хранения в надводном положении. В дальнейшем блок извлекался из воды, боковые отсеки отрезались, реакторный отсек ставился на длительное 70-летнее хранение на береговую площадку. По плану 2017–2018 гг. в пункте долговременного хранения «Устричный» в Приморском крае предстоит разместить на долговременное хранение 24 реакторных отсека списанных АПЛ. В 2017 г. стартует не имеющий аналогов в мире проект по одновременной транспортировке 12 из 24 трехотсечных блоков АПЛ из Камчатского края в бухту «Разбойник» для разделки и долговременного хранения. Один трехотсечный блок весит в среднем 1 тыс. т, следовательно, можно представить себе масштаб операции [2].

Переработка ОЯТ АПЛ. Завершен проект по выводу к месту переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на Дальнем Востоке, что позволило ликвидировать потенциальную угрозу экологических и техногенных аварий в регионе. Всего с 2002 по 2014 г. из Приморского края полностью вывезен 41 эшелон с ОЯТ суммарной активностью 84 млн Ки с целью переработки на ФГУП «ПО «Маяк».

Обращение с РАО. Жидкие радиоактивные отходы, содержащие морскую воду (ЖРО с МВ), возникают в процессе эксплуатации, ремонта и утилизации судов с ЯЭУ в чрезвычайных ситуациях, а также при авариях на АЭС, расположенных в прибрежной зоне. Сложность переработки ЖРО, содержащих МВ, главным образом определяется тремя факторами: высоким солесодержанием, вплоть до 30 г/л; сложным радионуклидным составом, включающим трудноизвлекаемые радионуклиды и высокой активностью, требующей мер обеспечения защиты персонала на производстве.

Особенности химического состава ЖРО с МВ связана с ограничением выбора отработанных на практике методов обращения с ними: дистилляция, обратный осмос и ионный обмен за счет высокого солесодержания. В настоящее время накоплен значительный опыт по обращению с ЖРО с МВ на Дальнем Востоке РФ [3].

В действующие технологии выделения ^{137}Cs из ЖРО с МВ содержат как ионообменные, так и мембранные методы. На первой стадии, в связи с низкими коэффициентами очистки, требуется использование селективных сорбентов. Как правило, применяются ферроцианидные сорбенты, обладающие наибольшей селективностью к радионуклидам цезия на фоне больших концентраций ионов натрия и калия [4–6]. Различного рода цеолиты и цеолитоподобные сорбенты, к сожалению, показывают значительно меньшие коэффициенты разделения в МВ и не могут обеспечить глубокую очистку от радионуклидов цезия [7]. Применение таких материалов для одностадийной очистки ЖРО с МВ от радионуклидов цезия возможно лишь при невысокой активности отходов. В последнее время все большее значение стали приобретать селективные фенол- и резорцинформальдегидные смолы (РФС) [8–10], имеющие высокую селективность к радионуклидам цезия в области больших значений рН. Существенным преимуществом данных материалов является то, что сорбция радионуклидов цезия на них обратима и десорбцию можно легко осуществить лишь снижением рН регенерирующего раствора. Применение РФС для одностадийной очистки ЖРО с МВ от радионуклидов цезия возможно при невысокой радиоактивности.

Удаление ^{90}Sr из растворов с высоким содержанием солей жесткости до сих пор не может считаться до конца решенной проблемой. Факторы селективности Sr/Ca для подавляющего большинства селективных сорбентов составляют величины лишь от 1 до 10. Такая низкая селективность не обеспечивает высокой очистки от ^{90}Sr в растворах с высоким содержанием солей жесткости. Кроме того, в МВ существует ряд равновесий между сульфат- и бикарбонат ионами и ионами щелочноземельных металлов, включая радионуклиды стронция, осложняющих ионообменное равновесие ионит-раствор [4].

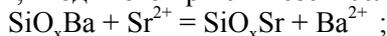
Наиболее перспективными сорбентами для выделения ^{90}Sr из МВ считались кристаллические силикотитанаты, получаемые методом гидротермального синтеза [11]. Однако они обладают большой емкостью по отношению не только к катионам Sr^{2+} , но и Ca^{2+} . В процессе поиска более перспективных

сорбционных материалов авторы указали на использование сорбционно-реагентных систем на основе аморфного силиката бария $BaSiO_3$, который получается в результате золь-гель перехода, индуцированного введением ионов Ba^{2+} в раствор Na_2SiO_3 [12–14].

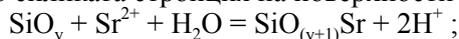
Само понятие сорбционно-реагентных систем (СРС) связано с протеканием химических реакций в ионообменных системах. Такие системы достаточно хорошо изучены (см. например, обзор [15]). В общем случае сорбционно-реагентными системами являются те, в которых извлечение радионуклида осуществляется одновременно за счет ионного обмена, необменной сорбции и соосаждения вещества на осадке, образующемся на поверхности и (или) в пористой среде, и (или) в объеме раствора.

Примерами таких систем, пригодных для сорбции ^{90}Sr [16], ^{60}Co или ^{57}Mn [17;18] из МВ являются $BaMnO_4$ в сульфатном растворе или активированный уголь в перманганатном растворе, в которых протекают процессы осаждения, соответственно, $BaSO_4$ или MnO_2 . Наиболее изученной сорбционно-реагентной системой является аморфный силикат бария $BaSiO_3$, имеющий практическое применение для очистки МВ от радионуклидов стронция [19]. Реагент получается в результате золь-гель перехода, индуцированного введением ионов Ba^{2+} в раствор Na_2SiO_3 . Образующиеся высокопористые матрицы содержат большое количество обменных ионов бария, способных образовывать с сульфат-анионами нерастворимые осадки $BaSO_4$, содержащимися в очищаемых растворах (МВ). Изменение условий золь-гель перехода и введение в золь модифицирующих добавок позволяет варьировать свойства получаемых матриц. Совокупность реакций, протекающих между раствором, содержащим сульфат ионы и аморфным силикатом бария, включает:

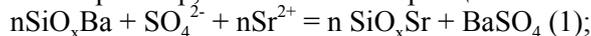
- ионный обмен стронция и бария, вводимого при синтезе в селективную матрицу:



- образование нерастворимого силиката стронция на поверхности сорбента:



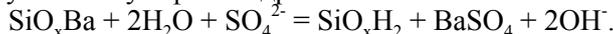
- образование слаборастворимого осадка сульфата бария с сульфат ионом, присутствующим в растворе или специально вводимым в раствор, с обменом на стронций:



- соосаждение стронция и металла с образованием смешанного осадка:



- и протекающий в присутствии сульфата гидролиз силиката металла:



Реакция силиката бария с сульфат-ионами раствора приводит к значительному изменению селективности извлечения стронция из растворов, содержащих ионы кальция, за счет протекания реакций (1) и (2). Более подробно процесс образования осадков в пористой среде силиката описан в [13].

К недостаткам $BaSiO_3$ относится низкая гидромеханическая прочность при использовании его в качестве получения композиционного материала, в котором активный компонент ($BaSiO_3$) переводится в гранулированную форму с использованием соответствующих связующих материалов [14].

Напротив, эффективная очистка от данных радионуклидов возможна методами соосаждения, например с гидратированной MnO_2 . В ДВФУ был получен сорбционный материал на основе оксида марганца, обладающего высокой избирательностью по отношению к ионам Sr^{2+} в морской воде и растворах-имитаторах. Среднее значение коэффициента распределения (K_p) ^{90}Sr составляет $2 \times 10^3 - 8 \times 10^3$ см³/г. Материал химически и механически устойчив для многократного использования в динамическом режиме сорбции-элюирования-регенерации. Сорбированный Sr^{2+} может быть элюирован раствором 0,5 М HCl с последующей регенерацией сорбента раствором 1,0 М NaOH. Показано, что в трех последовательных циклах сорбции – десорбции в указанных выше условиях величины полной динамической обменной емкости сорбента снижается от 0,21 до 0,16 мг-экв/г. Ресурс сорбента радионуклида (5 % проскока) превышает 150 колоночных объемов пропущенных растворов и не снижается в трех циклах сорбции – десорбции [20]. Полученный сорбционный материал может быть рекомендован для очистки ЖРО от ^{90}Sr сложного солевого состава, содержащего в том числе морскую воду.

Опыт переработки ЖРО, содержащих МВ, на предприятиях Дальнего Востока Российской Федерации. На ряде объектов, связанных с переработкой ЖРО, образующихся при эксплуатации, ремонте и утилизации НК и АПЛ с ЯЭУ Дальнего Востока, проводились испытания различных технологий переработки ЖРО, содержащих МВ.

Первой можно считать технологию, реализованную на станции переработки ЖРО на техническом танкере «Пинега» в 1995 г. (разработка ВНИИПИЭТ, Санкт-Петербург). Данная схема была опробована на ЖРО, содержащих до 10 % МВ, но в связи с трудностями эксплуатации установка в дальнейшем была законсервирована.

Особенностью работы технологической схемы установки «Ландыш» (разработка B&W NE, USA, 1999 г.) явился полный цикл обращения с ЖРО, включающий их кондиционирование (цементирование)

и упаковку вторичных радиоактивных отходов, образующихся в результате переработки. Опытные испытания, выполненные на ЖРО, содержащих 50 % МВ, показали общее сокращение объемов РАО при переработке ЖРО до ТРО в 14 раз. Однако заложенные при проектировании ограничения по емкости фильтров предварительной очистки, а также ограничения по биологической защите оборудования, не позволяют перерабатывать ЖРО с активностью $>10^5$ Бк/Л. Кроме того, высокое содержание Cl^- -ионов в МВ требует специальной тары для хранения отвержденных концентратов выпарной установки. К настоящему времени на упомянутой установке удалось переработать более 3000 м³ ЖРО с МВ.

С использованием установки «Шарья» (разработка АО «Экоатом», г. Сосновый Бор) на различных типах ЖРО с МВ с 1993 по 2000 г. было переработано более 5000 м³ ЖРО низкой солености. Различие технологической схемы от упомянутой отличается отсутствием стадии выпарки рассолов, приведшей к накоплению в ходе эксплуатации более 1000 м³ ЖРО – обратнoосмотического концентрата соленостью от 30 г/Л и активностью более 10⁶ Бк/Л.

Для их переработки, а также утилизации ЖРО с МВ, была создана установка «Барьер», в которой применены новые сорбционно-реагентные материалы и селективные сорбенты (разработка ИХ ДВО РАН). На стадии предварительного снижения гамма-активности используются природные цеолиты, полная очистка от ¹³⁷Cs происходит на ферроцианидных фильтрах, очистка от ⁶⁰Co и трансурановых элементов (ТУЭ) – на сорбционно-реагентных фильтрах с дозировкой в ЖРО KMnO_4 . Основной фильтрационный узел, связанный с удалением ⁹⁰Sr, основан на фильтрах заполненных сорбционно-реагентным материалом на основе BaSiO_3 . На установке «Барьер» с 2000 г. по настоящее время переработано более 5000 м³ накопленные ЖРО с МВ различного состава, а также концентраты (рис.).



Рис. Опытная установка «Барьер» [18;19]

Fig. Test installation «Barjer» [18;19]

В 2016 г. на основании имеющейся литературы и опыта работы в области обращения с ЖРО сложного состава силами Института химии ДВО РАН и ДВФУ на АО «ДВЗ «Звезда» создана пилотная установка сорбционно-реагентной переработки ЖРО с МВ и нефтепродуктов на уровне, превосходящем известные передовые технологии переработки данного типа отходов. При этом используются ферроцианидные сорбенты и сорбционно-реагентные материалы, производимые ДВЦ «ДальРАО» по технологии, разработанной в Институте химии ДВО РАН.

Решение поставленной задачи было достигнуто с помощью применения наноструктурированных адсорбентов длительного использования, способных восстанавливать свою сорбционную активность посредством несложной регенерации. Кроме того, при повторном использовании очищенных вод и продуктов переработки ЖРО существенно сокращаются затраты на водопотребление и водоотведение. Вместе с тем соли тяжелых металлов имеют значительную ценность, а их извлечение и повторное использование из отработанных электролитов в производстве может дать значительный экономический эффект. В процессе ремонта и утилизации образующиеся ЖРО накапливаются в монжюсах соответствующих цехов ДВЗ «Звезда» и в плавучих емкостях ПЕК-50 и (или) планируемой к постройке емкости ПЕК-200. Пилотная установка имеет хорошую референтность при обращении с такого типа ЖРО на объектах ДВЦ «РосРАО» и состоит из двух модулей: модуль очистки ЖРО (МО) и модуль цементирования (МЦ), а также комплект транспортно-технологического оборудования. МО предназначен для выполнения очистки ЖРО от разнообразных загрязнений: механических; нефтепродуктов; коллоидных частиц с последующей очисткой от радионуклидов на сорбционных фильтрах и от химических загрязнений на установках обратного осмоса. МЦ предназначен для заключения в цементную матрицу отходов в виде рассола, получаемого на установках обратного осмоса.

Радиационный мониторинг и аварийное реагирование. Активно развивается радиационный мониторинг на территории Приморского края. В 2017 г. он осуществлялся уже на 33 пунктах Государственной наблюдательной сети (ГНС) Приморского УГМС. При этом на 20 станциях МЭД измерялась с помощью автоматических датчиков, входящих в состав автоматических метеорологических комплексов (АМК), а на 13 станциях измерения проводились с помощью дозиметров различной модификации.

На основании оценки источников поступления радиоактивных загрязнений путем атмосферного выпадения радионуклидов космического, искусственного и естественного происхождения, а также ввоза загрязненных товаров и транспортных средств в Приморский край, несанкционированного хранения радиоактивных предметов показано, что среднегодовые значения МЭД γ -излучения на период 2014–2017 гг. на станциях края варьировали в пределах 10–23 мкР/час, а на территории г. Владивостока 12–15 мкР/час, находясь в пределах естественного радиационного фона без превышения допустимых норм для населения, установленных СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». Годовая эффективная доза облучения населения от всех источников ионизирующего излучения в расчете на 1 жителя составила $2,86 \text{ м}^3 \text{ в/год}$, что соответствует приемлемому уровню природного облучения (допустимая величина $5,0 \text{ м}^3 \text{ в/год}$).

Отмечается, что на территории Приморского края еще имеются отдельные локальные участки, оказывающие влияние на радиационную обстановку: зоны аварии АПЛ в бухте Чажма (1985 г.), места базирования атомных судов ТОФ и предприятия на побережье залива Петра Великого. В рамках реабилитации упомянутых загрязненных территорий ведется работа по улучшению радиационной обстановки.

С 2011 г. в атмосфере появились техногенные радионуклиды, поступившие с воздушными массами после аварии на АЭС «Фукусима-1». Однако случаев высокого радиоактивного загрязнения в течение года не зафиксировано.

В структуру коллективных доз облучения населения Приморского края по-прежнему наибольший вклад вносят природные и медицинские источники ионизирующего излучения (100 %). Среди доз, создаваемых за счет медицинского облучения, ведущее место занимают рентгенографические (38,7 %), компьютерная томография (26,2 %), исследования.

Отчет о реализации государственной программы Приморского края «Охрана окружающей среды Приморского края» размещен на странице департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Приморского края официального сайта Администрации Приморского края (www.primorsky.ru).

Заключение

Опыт очистки морской воды от опасных радионуклидов, а также промышленной переработки ЖРО, содержащих морскую воду, позволяет считать, что наиболее успешным для такой переработки является технология селективной сорбции. Используемая в настоящее время сорбционная технология переработки высокосолёных вод сложного химического состава, включая морскую воду, позволяет очищать среднеактивные ЖРО с активностью до 107 Бк/л до норм, позволяющих сбрасывать очищенные воды в акваторию (менее 102 Бк/л по радионуклидам ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , менее 0,1 Бк/л по основным трансураниевым элементам). Опыт очистки морской воды от опасных радионуклидов, а также промышленной переработки ЖРО, содержащих морскую воду, позволяет считать, что наиболее успешным для такой переработки является технология селективной сорбции. При этом используются ферроцианидные сорбенты и сорбционно-реагентные материалы, производимые ДВЦ «ДальРАО» по технологии, разработанной в Институте химии ДВО РАН.

Библиографические ссылки

1. Ахунов А. Д. Двадцать лет упорного труда // Вопросы утилизации АПЛ: Бюл. ЗАО «Атомэнергоиздат». 2009. № 1 (17). С. 18–26.
2. Электронный ресурс. URL: <http://nuclear-submarine-decommissioning.ru> (дата обращения: 07.10.2017).
3. Horne R. A. *Marine Chemistry*. The Structure of Water and the Chemistry of the Hydrosphere. N. Y., 1969.
4. Harjula R., Lehto Y., Tusa E., et al. Industrial scale removal of cesium with hexacyanoferrate exchanger – process development. *Nucl. Technol.* 1994. Vol. 107, No. 3. P. 272–278.
5. Егорин А. М., Токарь Э. А., Авраменко В. А. и др. Органоминеральный сорбент на основе смешанного ферроцианида цинка-калия для извлечения и концентрирования радионуклида Cs-137 из морской воды // Седьмая Российская молодежная школа по радиохимии и ядерным технологиям: тез. докл. Озерск, 12–16 сент. 2016 г. Озерск, 2016, С. 118–119.
6. Dalrymple W. The ultimate water treatment system // *Nuclear Engineering International*. 2012, July issue. P. 18–20.
7. Nenoff T. M., Krumhansl J. L. Cs+ removal from seawater by commercially available molecular sieves // *Solvent Extraction & Ion Exchange*. 2012. Vol. 30, № 1. P. 33–40.
8. Hassan N. M., Adu-Wusu K., Marra J. C. Resorcinol-formaldehyde adsorption of cesium from Hanford waste solutions // *Radioanal. and Nucl. Chem.* 2005. Vol. 262, № 3. P. 579–586.
9. Егорин А. М., Паламарчук М. С., Токарь Э. А. и др. Извлечение ^{137}Cs из морской воды с использованием резорцинформальдегидной смолы // *Радиохимия*. 2017. Т. 59, № 2. С. 142–146.

10. Avramenko V. A., Tananaev I. G., Sergienko V. I. Treatment of liquid radioactive waste containing seawater // Unique marine ecosystems: modern technologies of exploration and conservation for future generations: Abstracts of the International Conference. Russia, Vladivostok, 4–7 august 2016. Vladivostok, 2016. P. 22.
11. Solbra N., Allison S., Waite S., et al. Cesium and Strontium Ion Exchange on the Framework Titanium Silicate $M_2Ti_2O_3SiO_4 \cdot nH_2O$ (M = H, Na) // Environ. Sci. Technol. 2001. Vol. 35. P. 626–629.
12. Сокольницкая Т. А., Авраменко В. А., Бурков И. С. и др. Образование осадка при поглощении стронция сорбционно-реагентными материалами // Журн. физ. Химии. 2004. Т. 78, № 3. С. 497–502.
13. Авраменко В. А., Бурков И. С., Глуценко В. Ю. и др. Сорбционно-реагентные материалы для переработки жидких радиоактивных отходов // Вестник ДВО РАН. 2002. № 3. С. 7–21.
14. Егорин А. М., Сокольницкая Т. А., Тутов М. В. и др. Композитные селективные сорбенты для очистки морской воды от радионуклидов цезия и стронция // Доклады РАН. 2015. Т. 460, № 2. С. 177–181.
15. Janauer G. E., Gibbons R. E., Bernier W. E. A systematic approach to reactive ion exchange // Ion exchange and Solvent Extr., 1985. Vol. 9. P. 53–173.
16. Рыженков А. П., Егоров Ю. В. Сорбция стронция-90 из пресных вод в процессе сульфатного модифицирования мanganита бария // Радиохимия. 1995. Т. 37, № 6. С. 549–553.
17. Marton G., Szanya T., Hanak L., et al. Purification of nuclear power plant decontamination solutions by preparative scale reactive adsorption // Chemical Engineering Science. 1996. Vol. 51, No. 11. P. 2655–2660.
18. Авраменко В. А., Тананаев И. Г., Сергиенко В. И. Современные технологии обращения с жидкими радиоактивными отходами // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017: сб. ст. по материалам науч.-практ. конф. с междунар. участием (11–15 сент. 2017 г.) / под. ред. Ю. А. Омельчук, Н. В. Ляминой, Г. В. Кучерик. Симферополь, 2017. С. 32–34.
19. Авраменко В. А., Егорин А. М., Папынов Е. К. и др. Технологии переработки жидких радиоактивных отходов, содержащих морскую воду // Радиохимия. 2017. Т. 59, № 4. С. 355–360.
20. Егорин А. М., Миско Д. С., Шелестюк Е. А. и др. Извлечение Sr-90 из жидких сред сложного солевого состава // Химия и химическое образование: сб. тр. VII Междунар. симпоз., Владивосток, 17–20 окт. 2017. Владивосток, 2017. С. 167–168.

References

1. Akhunov A. D. [Twenty years of hard work]. *Issues of NS dismantlement*: Bull. of Atomenergizdat. 2009. No. 1 (17). P. 18–26 (in Russ.).
2. Electronic resource. URL: <http://nuclear-submarine-decommissioning.ru> (date of access: 07.10.2017).
3. Horne R. A. Marine Chemistry. The Structure of Water and the Chemistry of the Hydrosphere. N. Y., 1969.
4. Harjula R., Lehto Y., Tusa E., et al. Industrial scale removal of cesium with hexacyanoferrate exchanger – process development. *Nucl. Technol.* 1994. Vol. 107, No. 3. P. 272–278.
5. Egorin A. M., Tokar E. A., Avramenko V. A., et al. [Organomineral sorbent based on mixed zinc-potassium ferrocyanide for extraction and concentration of radionuclide Cs-137 from sea water]. *Seventh Russian Youth School on Radiochemistry and Nuclear Technologies*: Abstracts. Ozersk, Sept. 12–16, 2016. Ozersk, 2016. P. 118–119 (in Russ.).
6. Dalrymple W., The ultimate water treatment system. *Nuclear Engineering International*. 2012, July issue. P. 18–20.
7. Nenoff T. M., Krumhansl J. L. Cs+ removal from seawater by commercially available molecular sieves. *Solvent Extraction & Ion Exchange*. 2012. Vol. 30, No. 1. P. 33–40.
8. Hassan N. M., Adu-Wusu K., Marra J. C. Resorcinol-formaldehyde adsorption of cesium from Hanford waste solutions. *Radioanal. and Nucl. Chem.* 2005. Vol. 262, No. 3. P. 579–586.
9. Egorin A. M., Palamarchuk M. S., Tokar E. A., et al. [Extraction of ^{137}Cs from sea water using resorcinol-formaldehyde resin]. *Radiochemistry*. 2017. Vol. 59, No. 2. P. 142–146 (in Russ.).
10. Avramenko V. A., Tananaev I. G., Sergienko V. I. Treatment of liquid radioactive waste containing seawater. *Unique marine ecosystems: modern technologies of exploration and conservation for future generations*: Abstracts of the International Conference. Russia, Vladivostok, 4–7 august 2016. Vladivostok, 2016. P. 22.
11. Solbra N., Allison S., Waite S., et al. Cesium and Strontium Ion Exchange on the Framework Titanium Silicate $M_2Ti_2O_3SiO_4 \cdot nH_2O$ (M = H, Na). *Environ. Sci. Technol.* 2001. Vol. 35. P. 626–629.
12. Sokolnitskaya T. A., Avramenko V. A., Burkov I. S., et al. [Formation of a sediment upon absorption of strontium by sorption-reagent materials]. *J. of Physical Chemistry*. 2004. Vol. 78, No. 3. P. 497–502 (in Russ.).
13. Avramenko V. A., Burkov I. S., Glushchenko V. Yu., et al. [Sorption-Reagent Materials for Processing Liquid Radioactive Waste]. *Vestnik of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2002. No. 3. P. 7–21 (in Russ.).
14. Egorin A. M., Sokolnitskaya T. A., Tutov M. V., et al. [Composite selective sorbents for the purification of sea water from radionuclides of cesium and strontium]. *Doklady RAS*. 2015. Vol. 460, No. 2. P. 177–181 (in Russ.).
15. Janauer G. E., Gibbons R. E., Bernier W. E. A systematic approach to reactive ion exchange. *Ion exchange and Solvent Extr.*, 1985. Vol. 9. P. 53–173.
16. Ryzhenkov A. P., Egorov Yu. V. Sorption of strontium-90 from fresh water in the process of sulfate modification of barium manganite. *Radiochemistry*. 1995. Vol. 37, No. 6. P. 549–553 (in Russ.).
17. Marton G., Szanya T., Hanak L., et al. Purification of nuclear power plant decontamination solutions by preparative scale reactive adsorption. *Chemical Engineering Science*. 1996. Vol. 51, No. 11. P. 2655–2660.
18. Avramenko V. A., Tananaev I. G., Sergienko V. I. [Modern technologies for handling liquid radioactive waste]. *Environmental, Industrial and Energy Security – 2017*: Collection of articles on the materials of the scientific and practical conference with international participation. 11–15 Sept. 2017 / Yu. A. Omelchuk, N. V. Lyamina, G. V. Kucherik (eds.). Simferopol, 2017. P. 32–34 (in Russ.).
19. Avramenko V. A., Egorin A. M., Papanov E. K., et al. [Technologies for Processing Liquid Radioactive Wastes Containing Seawater]. *Radiochemistry*. 2017. Vol. 59, No. 4. P. 355–360 (in Russ.).
20. Egorin A. M., Misko D. S., Shelestyuk E. A., et al. [Extraction of Sr-90 from liquid media of complex salt composition]. *Chemistry and Chemical Education: VII International Sympos.* Vladivostok, 17–20 Oct. 2017. Vladivostok, 2017. P. 167–168 (in Russ.).

УДК 612.111/115.3

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АГРЕГАЦИИ ТРОМБОЦИТОВ

А. В. БАКУНОВИЧ¹⁾, К. Я. БУЛАНОВА¹⁾, Л. М. ЛОБАНОК²⁾

¹⁾*Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь*

²⁾*Белорусский государственный медицинский университет, пр. Дзержинского, 83, 220116, Минск, Беларусь*

Рассматриваются процессы активации тромбоцитов, вызванные действием различных агонистов, воздействующих на ряд структурно-функциональных молекул мембранной поверхности, а также на специфические рецепторы, активирующие различные сигнальные пути. Одни из них обеспечивают поддержание гемостаза при нарушениях целостности сосудов, другие – запускают синтез биологически активных молекул. Большое внимание уделяется молекулярным механизмам гемостатической реакции: процессам узнавания тромбоцитами поврежденной стенки кровеносного сосуда, прилипания к эндотелию, последующей их активации и агрегации; роли гликопротеинового комплекса, коллагена в адгезии и агрегации тромбоцитов; главенствующему участию важнейших сигнальных путей и ведущей роли вторичных мессенджеров в активации-деактивации тромбоцитов. Представлены также данные о различных ферментативных процессах в тромбоцитах, определяющих синтез разных видов эйкозаноидов.

Образец цитирования:

Бакунович А. В., Буланова К. Я., Лобанок Л. М. Молекулярные механизмы агрегации тромбоцитов // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 40–51.

For citation:

Bakunovich A. V., Bulanovaa K. Y., Lobanok L. M. Molecular mechanisms of platelet aggregation. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 40–51 (in Russ.).

Авторы:

Андрей Валерьевич Бакунович – старший преподаватель кафедры экологической химии и биохимии.

Клавдия Яковлевна Буланова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры экологической химии и биохимии.

Леонид Михайлович Лобанок – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси.

Authors:

Andrei V. Bakunovich, senior lecturer of the department of environmental chemistry and biochemistry.

andy.bakunovich@gmail.com

Klavdiya Y. Bulanova, PhD (biology), associate professor; associate professor of the department of environmental chemistry and biochemistry.

bulanova_home@tut.by

Leonid M. Lobanok, doctor of sciences (medicine), professor, corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus.

normfiz@bsmu.by

Ключевые слова: тромбоциты; адгезия и агрегация тромбоцитов; ионы кальция; пуринорецепторы; активация тромбоцитов; цАМФ; цГМФ; гликопротеиновый комплекс.

MOLECULAR MECHANISMS OF PLATELET AGGREGATION

A. V. BAKUNOVICH^a, K. Y. BULANOVA^a, L. M. LOBANOK^b

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

^bBelarusian State Medical University, Dzerzhinskogo avenue, 83, 220116, Minsk, Belarus

Corresponding author: andy.bakunovich@gmail.com

The article deals with the processes occurring in platelets during their activation caused by a multitude of agonists affecting a number of structural and functional molecules of the membrane surface, as well as specific receptors that activate different signaling pathways. Some of them ensure the maintenance of hemostasis in case of vascular integrity disorders, others - trigger the synthesis of biologically active molecules. Accordingly, most attention is paid to the molecular mechanisms of the haemostatic reaction: the processes of platelet recognition of the damaged wall of the blood vessel, adhesion to the endothelium, their subsequent activation and aggregation; role of glycoprotein complex, collagen in adhesion and platelet aggregation; the predominant participation of the most important signaling pathways and the leading role of secondary messengers in activation-deactivation of platelets. The article also presents data of various enzymatic processes in platelets that determine the synthesis of different types of eicosanoids.

Key words: platelets; platelet adhesion and aggregation; calcium ions; purinoreceptors; platelet activation; cAMP; cGMP; glycoprotein complex.

Введение

Кровь является жизненно важной транспортной системой человеческого организма, которая переносит кислород и питательные вещества для поддержания жизнедеятельности клеток и одновременно обеспечивает удаление диоксида углерода и других продуктов жизнедеятельности из организма. В случае повреждения кровеносного сосуда запускается механизм гемостаза, инициирующий быстрые пути реагирования, направленные на остановку кровотечения. Так, кровь, поддерживаемая в жидком состоянии во время ее движения по системе сосудов, в случае повреждения всегда готова быстро сформировать гемостатическую пробку для предотвращения нежелательного кровотечения.

Поскольку кровь постоянно находится в движении, гемостатические механизмы должны действовать чрезвычайно быстро и эффективно. При этом требуется наличие регуляторных механизмов, сохраняющих идеальное равновесие и не позволяющих спонтанной активизации гемостатических реакций. Если гемостатическая система слишком эффективна или ее механизмы контроля выходят из строя, это может привести к нежелательным тромбообразованиям с последующей закупоркой кровеносных сосудов или эмболии.

Тромбоциты играют ведущую роль в нарушении реологических свойств крови и запуске гемостатической реакции. При нормальных условиях циркулирующие в кровяном русле тромбоциты практически не взаимодействуют друг с другом и другими клетками. Исключением является лишь взаимодействие с эндотелием сосудов в процессе ангиотрофической функции. Однако при повреждении кровеносного сосуда кровяные пластинки подвергаются действию различных соединений, инициирующих процессы адгезии и агрегации, в результате чего образуется тромбоцитарная пробка. Следует отметить, что движущая сила крови приводит к концентрированию эритроцитов и других крупных клеток крови в центре потока, а тромбоцитов – ближе к стенке сосуда, где скорость движения жидкости ниже поскольку градиент скорости всегда находится ближе к стенке сосуда [1]. Такое распределение имеет особенную значимость в случае повреждения кровеносного сосуда: кровяные пластинки немедленно подвергаются действию различных соединений из разрушенных клеток, которые инициируют процессы узнавания сосудистых повреждений, адгезии и агрегации тромбоцитов, приводящих к образованию тромбоцитарной пробки. Гемостатическая реакция включает несколько стадий: узнавание тромбоцитом поврежденной стенки кровеносного сосуда, прилипание к эндотелию, его активацию и последующую агрегацию.

Узнавание поврежденной стенки сосуда. Адгезия. Первой стадией свертывания крови является прилипание тромбоцитов к субэндотелиальному матриксу или активированному эндотелию в результате

травмы сосуда при острой гипертензии или вследствие действия свободных радикалов, продуктов курения, бактериальных токсинов, вирусной инфекции, цитокинов (TNF, IL-1 и др.), иммунных комплексов и др. [2]. Процесс опосредуется синергической функцией нескольких рецепторов на поверхности плазматической мембраны тромбоцитов и наличия адгезивных молекул в околоклеточном пространстве, которые высвобождаются из эндотелиальных клеток в кровь и экстраклеточный матрикс.

Роль гликопротеинового комплекса в адгезии тромбоцитов. При скоплении кровяных пластинок возле стенки сосуда, прикреплению их к коллагену способствует гликопротеиновый Ib-IX-V (GPIb-IX-V) комплекс рецепторов. Комплекс GPIb-IX-V находится на поверхности плазматической мембраны тромбоцитов и состоит из 4 субъединиц: GPIb α , GPIb β , GPIX и GPV [3], относится к семейству белков, богатых лейцином, и является мембранным рецептором для фактора фон Виллебранда (von Willebrand factor; vWF), выделяющегося из альфа-гранул тромбоцитов и эндотелиальных клеток в кровяное русло [4]. vWF способствует адгезии тромбоцитов к коллагену, обеспечивая их прикрепление к месту повреждения сосуда. Данная связь является достаточно слабой, однако приводит к замедлению движения тромбоцитов, давая возможность взаимодействовать другим рецепторам тромбоцитов с коллагеном. Мультимеры фактора фон Виллебранда содержат несколько сайтов связывания для адгезивных GPIb-IX-V рецепторов, которые в процессе связывания способны передавать сигнал внутрь клетки, приводя к ее активации и перестройке актинового цитоскелета. Кроме того, комплекс GPIb-IX-V также способен связывать альфа-тромбин, факторы свертывания тромбина, факторы XI и XII, P-селектин и Mac-1 [5], стимулировать активацию тромбоцитов. Отсутствие функциональных GPIb-IX-V комплексов на поверхности тромбоцитов является причиной синдрома Бернара–Сулье – редкого наследственного заболевания кровотечения, связанного с макротромбоцитопенией.

Роль коллагена в иммобилизации и агрегации тромбоцитов. Дальнейшим этапом активации является накопление и закрепление тромбоцитов на поврежденной поверхности. Данный процесс происходит за счет различных рецепторов на поверхности плазматической мембраны и наличия адгезивных молекул в околоклеточном пространстве. В месте повреждения обычно присутствует избыток коллагена, являющегося основным компонентом матрицы субэндотелия. Таким образом, в действие в первую очередь вступают такие коллагеновые рецепторы, как GPIa/IIa (интегрин $\alpha 2/\beta 1$) и GPVI. Взаимодействие коллагена с GPIa/IIa приводит к расплыванию тромбоцита по поверхности, полной остановке и закреплению на участке повреждения. GPVI-рецептор усиливает закрепление тромбоцита на поврежденной поверхности и приводит к его полной активации и, следовательно, последующей агрегации, инициируя ряд регуляторных механизмов. GPVI способен связываться с Fc рецептором (FcR γ -chain), содержащим ITAM домен (Immunoreceptor Tyrosine-based Activation Motif), предназначенный для трансмембранной передачи сигнала, а взаимодействие с Src (sarcoma) тирозинкиназами Fyn и Lyn, выступающими в роли каталитических субъединиц, приводит к фосфорилированию ITAM и активации тирозинкиназы Syk (Spleen tyrosine kinase) [6]. Активация Syk запускает ряд следующих друг за другом реакций, приводящих к активации фосфолипазы C $\gamma 2$ (PLC $\gamma 2$), фосфатидилинозитол-3-киназы (PI $_3$ K) и малых G белков [7], что в итоге приводит к мобилизации ионов кальция из внутриклеточных депо, секреции гранул и агрегации тромбоцитов [6]. Таким образом, GPIa/IIa и GPVI рецепторы необходимы для адгезии и агрегации тромбоцитов на коллагене в условиях движения крови по кровяному руслу, а блокада какого-либо из них отменит возможность формирования тромба.

В норме формирование тромбоцитарной пробки способствует остановке кровотечения и ограничивает потерю крови, однако при патологических состояниях, таких как разрыв атеросклеротических бляшек, взаимодействие тромбоцитов и коллагена могут стать причиной развития сердечно-сосудистых заболеваний.

Участие гликопротеинового комплекса в дальнейшей стимуляции агрегации. После того, как первичный слой тромбоцитов закрепился на поврежденной поверхности сосуда, адгезия кровяных пластинок сменяется на агрегацию, тогда тромбоциты, двигающиеся по току крови, связываются с адгезивными тромбоцитами в участке повреждения. Однако для того, чтобы новые тромбоциты продолжали агрегировать, уже закрепившиеся клетки должны стимулировать вновь прибывшие. Это распространение активации выполняется с помощью мощных ауто- и паракринных сигнальных путей. Так, последующий механизм агрегации тромбоцитов в первую очередь связан с гликопротеиновым комплексом GPIIb/IIIa (интегрин $\alpha IIb\beta 3$). Гликопротеин IIb/IIIa – Ca $^{2+}$ –зависимый гетеродимер, который обильно распространен на плазматической мембране тромбоцитов, являясь рецептором для фибриногена и фактора фон Виллебранда [8]. Два соседних тромбоцита связываются между собой при помощи двух GPIIb/IIIa рецепторов и одной молекулы фибриногена. В состоянии покоя интегрин $\alpha IIb\beta 3$ обладает низким сродством к фибриногену, однако при активации тромбоцитов это сродство повышается и создается возможность передачи сигнала внутрь клетки. Пациенты с тромбастенией Гланцмана наследуют отсутствие или недо-

статок GPIIb/IIIa рецепторов, а их тромбоциты не связываются фибриногеном и не способны образовывать агрегаты [9].

Роль мембранных рецепторов в агрегации тромбоцитов. Помимо выше приведенных путей, в активации тромбоцитов и последующей их агрегации участвуют ряд биологически-активных соединений (индукторов), находящихся в околкеклеточном пространстве и секретируемых из внутриклеточных депо, а механизм их действия основан на стимулировании специфических рецепторов на клеточной поверхности. Так, в результате секреции из внутренних депо из тромбоцитов выделяются ADP, ATP, Ar_4A , тромбоксан A_2 , серотонин, фактор активации тромбоцитов (platelet-activating factor; PAF), вазопрессин, адреналин и др.

Тромбоксан A_2 и серотонин, посредством 5-HT_{2A}-рецепторов [10], обладают вазоконстрикторными функциями и способствуют скоплению тромбоцитов в месте повреждения.

Фактор активации тромбоцитов, образующийся в результате активации PLA₂, индуцирует клеточную активацию путем связывания с рецептором, сопряженным с G-белком [11], вызывая доза-зависимую агрегацию. Кроме того, PAF стимулирует секрецию из плотных гранул и α -гранул, стимулирует активность GTPазы в клеточных мембранах тромбоцитов человека, а также оборот полифосфоинозитидов, увеличивая внутриклеточный уровень свободного кальция. Предполагается, что PAF не работает через сигнальные пути, транслирующие эффекты ADP, эпинефрина и коллагена, а его способность вызывать вторую волну агрегации и секрецию реализуется, главным образом, с помощью циклооксигеназного пути.

Рецепторы T_xA_2 . T_xA_2 функционирует в качестве посредника, действуя по принципу положительной обратной связи во время активации тромбоцитов. Доза-зависимо стимулирует агрегацию тромбоцитов, способствуя секреции внутриклеточных веществ и увеличению концентрации внутриклеточного кальция [12]. Биологическое действие T_xA_2 осуществляется через его специфический рецептор (TP), присутствующий на поверхности клеток. Тромбоксан A_2 является достаточно слабым индуктором агрегации тромбоцитов, причем считается еще более слабым по сравнению с ADP [6], а его действие локально ограничено из-за короткого периода полураспада и гидролиза до тромбоксана B_2 .

Рецептор тромбоксана A_2 содержит семь трансмембранных доменов, сопряженных с G-белком, а его функциональное исследование показало, что этот рецептор связан с инозитолтрифосфат/ Ca^{2+} передачей сигнала [13]. TP также активируется PGG₂ и PGH₂, соединен с G_q и G₁₂/G₁₃ белками. Воздействуя на TP-рецептор, агонисты, вызывают активацию G_q-белка и его последующую диссоциацию на α - и β - γ -субъединицы.

β - γ -комплекс связан с активацией фосфолипазы C _{β} , активацией фосфоинозитидной системы вторичных посредников и генерацией диацилглицерина (DAG). Так, фосфолипаза C гидролизует фосфатидилинозитол-4,5-дифосфат с образованием инозитол-1,4,5-трифосфата (IP₃), который, в свою очередь, вызывает повышение внутриклеточной концентрации ионов кальция за счет связывания с IP₃ рецептором (IP₃R), являющегося кальций-селективным катионным каналом депонирующей трубчатой системы [14].

DAG вызывает активацию протеинкиназы C (PKC) и секрецию тромбоцитов [15]. Регуляторная роль активированной протеинкиназы C заключается в снижении концентрации свободных ионов кальция в цитоплазме клетки за счет фосфорилирования и последующего ингибирования активности рецептор-управляемых кальциевых каналов плазматической мембраны.

Таким образом, было показано, что активация TP-рецепторов тромбоцитов обусловлена связыванием с G _{α_{12}} и G _{α_{13}} , вызывая замену GDP на GTP в нуклеотид-связывающем центре. Передача сигнала через G _{α_{13}} , приводит к стимуляции Rho/Rho киназы и последующему фосфорилированию легких цепей миозина тромбоцитов, что приводит к изменениям в формировании актина и перегруппировке цитоскелета тромбоцитов [16]. Эти данные свидетельствуют, что изменения формы тромбоцитов не могут однозначно определяться эффектами G_q-сигнализации, тем более, что ADP не способен вызывать изменения формы в тромбоцитах G_q-дефицитных мышей [17]. А в связи с отсутствием информации, подтверждающей прямое связывание ADP-рецепторов тромбоцитов с G_{12/13}, можно полагать, что изменения формы тромбоцитов может быть вызвано несколькими путями. Предполагается, что в состоянии покоя, в присутствии интактного G_q и G_{12/13}, TP-опосредованные изменения формы тромбоцитов могут на самом деле представлять собой результат реализации композита сигналов через оба пути [18].

И, наконец, TP-опосредованная сигнализация стимулирует активацию системы кальций/кальмодулин, а также ряда низлежащих киназ, Ras, Rho, Rac [19].

Циклооксигеназа-1 (COX-1) и циклооксигеназа-2 (COX-2) экспрессируются в плотной трубчатой системе (DTS) тромбоцитов человека. Однако только молодые тромбоциты способны экспрессировать COX-2 из родительских мегакариоцитов, а зрелые тромбоциты человека в норме экспрессируют только COX-1 [20]. Таким образом, COX-2 физиологически присутствует только в небольшой фракции цирку-

лирующих тромбоцитов, но их образование существенно увеличивается в условиях высокой регенерации тромбоцитов. COX является гем-содержащим бифункциональным белком, который последовательно катализирует две реакции: образование из арахидоновой кислоты простагландина G_2 (PGG_2) и последующее восстановление PGG_2 до простагландина H_2 (PGH_2) [21], которые, в свою очередь, способны по механизму отрицательной обратной связи ингибировать активность циклооксигеназы. Дальнейший метаболизм PGH_2 при помощи различных PG-синтетаз приводит к образованию PGD_2 , PGE_2 , $PGF_2\alpha$, PGI_2 (простациклина) и TxA_2 (тромбоксана A_2) с участием тромбоксан-синтетазы.

Образованный простациклин является вазодилататором и ингибитором агрегации тромбоцитов, тогда как тромбоксан A_2 выполняет противоположную функцию, являясь вазоконстриктором и промотором агрегации, поскольку дополнительно мобилизует кальций из внутриклеточных хранилищ.

Так, основной функцией COX-1 является образование TxA_2 , а функцией COX-2 – производство PGE_2 . В связи с тем, что TxA_2 и PGI_2 выполняют противоположные роли, то дисбаланс их синтеза вовлечен в патофизиологию многих тромбоцитарных и сердечно-сосудистых осложнений. Кроме того, PLA_2 генерирует предшественника фактора активации тромбоцитов, давая возможность ацетилтрансферазе образовать PAF.

PAR-рецепторы (Protease-Activated Receptors) для тромбина. Тромбин является одним из основных активаторов тромбоцитов и главным ферментом системы свертывания крови, который катализирует реакцию превращения фибриногена в фибрин, а также действует на тромбоциты за счет необратимого связывания с мембранными PAR-рецепторами [6]. Образование тромбина инициируется воздействием тканевого фактора с факторами свертывания в плазме после нарушения сосудистого эндотелия и происходит на клеточных поверхностях, включая активированные тромбоциты.

На поверхности тромбоцитов человека присутствуют 2 типа PAR-рецепторов: PAR1 и PAR4 [22]. Исследования с использованием антагонистов этих рецепторов показали, что PAR1 опосредует активацию тромбоцитов человека при низких концентрациях тромбина, в то время как PAR4 способствует тромбин-индуцированной активации тромбоцитов только при его высоких концентрациях [22], указывая на то, что PAR1 обладает большим сродством к тромбину, чем PAR4. Активация PAR1 наблюдается при концентрациях тромбина порядка 50–200 пМ, а число молекул рецептора на поверхности одной клетки составляет около 2000 [6]. Однако PAR4 также активируется низкими концентрациями тромбина и вносит свой вклад в активацию тромбоцитов главным образом в условиях ингибирования или десенситизации PAR1 [6]. PAR1 способствует резкому увеличению концентрации внутриклеточного кальция и очень быстро десенситизируется при больших концентрациях тромбина, в то время как PAR4 характеризуется более продолжительным ответом и может поддерживать этот эффект при больших концентрациях тромбина [23].

Передача сигнала внутрь клетки посредством PAR осуществляется за счет G-белков (G_q , $G_{12/13}$, G_i) [6]. Так, воздействие на G_q белок приводит к активации фосфолипазы C_β (PLC_β) и дальнейшему расщеплению мембранных фосфоинозитидов, образованию DAG и IP_3 . Передача сигналов с PAR-рецепторов на $G_{12/13}$ -белок активирует RhoA (GTPases Ras homolog gene family, member A) и Rho-киназы. Rho-киназа стимулирует фосфорилирование легких цепей миозина, а RhoA участвует в секреции гранул [24]. Воздействие на G_i -белок, приводит к ингибированию аденилатциклазы и тем самым снижению уровня cAMP в тромбоцитах. Кроме того, тромбин способствует секреции ADP.

Пуринорецепторы. Обильно секретируемые из плотных гранул активированных тромбоцитов ADP и АТР, являются лигандами P2 пуринорецепторов, расположенных на поверхности клеток. Пуринорецепторы типа $P2Y_1$ и $P2Y_{12}$ являются G-белок-связывающими рецепторами ($G_{P(q)}$ - и G_i -белками). Один из них ($P2Y_1$) связан с активацией фосфолипазы C и фосфоинозитольным обменом, а другой ($P2Y_{12}$) – с ингибированием аденилатциклазы [25]. Причем для нормальной активации, оба типа этих рецепторов необходимы клетке. Третий тип рецепторов, обозначенный, как $P2X_1$, активируется при помощи АТР и представляет собой Ca^{2+} -канал [26].

$P2Y_1$ рецепторы. Являясь рецептором для ADP [27], $P2Y_1$, при помощи G_q -белка активирует PLC_β , инициируя изменение формы и агрегацию тромбоцитов за счет мобилизации внутриклеточных запасов ионов кальция. Также $P2Y_1$ -рецепторы связаны с Ca^{2+} мобилизацией через Rho/Rho-киназы и, скорее всего соединены с $G_{12/13}$ -белками. По другим данным, G_i и G_q белки активируют SFK (Src family kinase) Лун-киназу, которая запускает каскад биохимических реакций, ведущих к секреции α -гранул и синтезу TxA_2 . SFK активирует PI_3K и Akt-киназу, которая активирует NO-синтазу [6]. Далее активируются cGMP-зависимая протеинкиназа (PKG), ведущая к ингибированию тромбоцитов и секреции α -гранул. А затем активируются MAPKs (mitogen-activated protein kinases), которые в свою очередь тоже приводят к секреции альфа-гранул, а также к синтезу тромбоксана A_2 [28].

Следует отметить, что тромбоциты мышей с дефицитом рецептора P_2Y_1 подвергаются частичной агрегации высокими концентрациями ADP [29]. Это указывает на наличие либо дополнительного (четвертого)

пуринорецептора на поверхности тромбоцитов, либо об определенной связи $P2Y_1$ с другими G-белками, способствующими этому процессу. Таким образом, этот рецептор играет ключевую роль в изменении формы тромбоцитов, а также в инициации ответа тромбоцитов на ADP. Он опосредует первую, обратимую фазу агрегации тромбоцитов, в то время как усиление агрегации и повышение секреции тромбоцитов вызывается другим рецептором для ADP – $P2Y_{12}$ в сочетании с ингибированием аденилатциклазы.

$P2Y_{12}$ рецепторы. $P2Y_{12}$ также является рецептором для ADP [27], ингибирует аденилатциклазу посредством G_i -белков, приводя к снижению уровня cAMP в клетке [6], что имеет важное значение для полного ответа на ADP-индуцированную агрегацию и стабилизацию агрегатов [27], а также усилению ответа тромбоцитов на другие агрегирующие агенты, в том числе тромбоксан A_2 , тромбин и коллаген. Ингибирующее влияние ADP на синтез cAMP в тромбоцитах осуществляется по следующему механизму: активация рецепторов этого типа приводит к их сопряжению с G_i -белками, замене в нуклеотид-связывающем центре α_i -субъединицы GDP на GTP, что стимулирует ее высвобождение из гетеротримера и соединение с каталитической субъединицей – аденилатциклазой. Димерный β - γ -комплекс также способен играть важную роль в трансдукции сигнала через плазматическую мембрану клетки, но он вызывает эффекты, противоположные α -белку.

Стимуляция $P2Y_{12}$ также имеет важное значение для полной активации гликопротеина Пб-Ша и интегрин $\alpha IIb\beta 3$ [30] при помощи ADP и стабилизации тромбоцитарных агрегатов. Кроме того, ADP-индуцированная генерация тромбоксана A_2 также способствует реакции высвобождения из внутри-тромбоцитарных гранул. $P2Y_{12}$ -зависимая активация тромбоцитов участвует в адгезии тромбоцитов к фибриногену, а также в коллаген-индуцированном формировании тромба [30]. Выявлено, что тромбоциты мышей с дефицитом $P2Y_{12}$ рецепторов не агрегируют при воздействии на них ADP и обладают пониженной чувствительностью к тромбину и коллагену [31], что позволяет убедиться в необходимости активации этого рецептора для стимуляции ADP-индуцированной агрегации тромбоцитов.

Эксперименты с селективным антагонистом $P2Y_{12}$ рецептора AR-C 66096 показали, что воздействие ADP на этот рецептор не приводит к изменению формы тромбоцита [32]. Активация рецептора $P2Y_{12}$ потенцирует $P2Y_1$ опосредованную рецептором Ca^{2+} сигнализацию. Таким образом, для ADP-зависимой агрегации тромбоцитов необходимы как $P2Y_{12}$, так и $P2Y_1$ -рецепторы [30]. Инициация агрегации осуществляется рецептором $P2Y_1$, тогда как рецептор $P2Y_{12}$ усиливает сигнал активации [27], играя решающую роль в активации циркулирующих тромбоцитов и их скоплению на месте повреждения, а также в повышении активации тромбоцитов вызванной другими агонистами.

$P2X_1$ рецепторы. Третьим P_2 пуринорецептором на поверхности тромбоцитов, является $P2X_1$. Хотя деполяризация и увеличение цитозольного Na^+ вносят свой вклад в сигнализацию, однако все функциональные события на сегодняшний день после активации $P2X_1$ рецепторов зависят от притока ионов кальция [33]. Ca^{2+} активирует увеличение кальмодулин-зависимой киназы легкой цепи миозина, что приводит к фосфорилированию легкой цепи миозина создавая условия для изменения формы и секреции гранул [34]. $P2X_1$ не стимулирует изменение формы через Rho-киназы [34], а избирательное включение $P2X_1$ при помощи РКС вызывает кратковременное фосфорилирование ERK₂, что способствует полной секреции плотных гранул [35] и активации низкого уровня $\alpha IIb\beta 3$ интегрин [36], приводя к слабой, транзитной агрегации. $P2X_1$ -зависимая активация $\alpha IIb\beta 3$, предположительно, осуществляется за счет Ca^{2+} и диацилглицерол-управляемого гуанин-нуклеотид фактора обмена I (CalDAG-GEFI) [37], являющегося внутриклеточной сигнальной молекулой, участвующей в активации малых GTPаз семейства Ras. Он содержит сайты связывания Ca^{2+} , диацилглицерола и гуанин-нуклеотид-фактора обмена (GEF), ответственного за катализ активации Rap1 и Rap2.

Активация $P2X_1$ рецептора стимулирует быстрое и обратимое изменение формы тромбоцита, достигая максимума в течение нескольких секунд, и возвращается в состояние покоя после $\approx 1-2$ мин [33], быстрой и обратимой централизации его секреторных гранул. Кроме того, $P2X_1$ рецептор вызывает деполяризацию мембраны, тем самым усиливая сигнал через $P2Y_1$ и другие G_q -связанные рецепторы.

Для усиления сигналов и функциональных событий в тромбоцитах, $P2X_1$ -рецепторы могут взаимодействовать с несколькими другими рецепторами, особенно при условии низкой концентрации агониста. В частности, активация $P2X_1$ рецепторов с помощью АТР усиливает реакцию агрегации с низким уровнем таких основных агонистов, как коллаген и тромбин [36]. А поскольку АТР и ADP секретируются из плотных гранул, то, более уместно рассмотреть последствия совместной стимуляции $P2X_1$ и $P2Y$ -рецепторов. Таким образом, интересно отметить, что совместное добавление $\alpha\beta$ -meATP и очищенного ADP ускоряют и усиливают Ca^{2+} -ответ, по сравнению с ожидаемой суммой индивидуальных ответов [38]. Таким образом, синергия между $P2X_1$ и $P2Y_1$ может увеличить шансы на образования тромба. Однако другой эксперимент [39] показал, что избирательная коактивация $P2X_1$ рецептора и либо $P2Y_{12}$, либо $P2Y_1$ рецепторов не вызывает агрегацию тромбоцитов, хотя рецептор $P2X_1$ потенцирует $P2Y_1$ рецептор-опосредованное

увеличение внутриклеточного кальция. Таким образом, P2X₁ рецептор-опосредованный быстрый приток кальция вызывает изменение формы тромбоцитов, но он не играет никакой существенной роли в ADP-индуцированной агрегации тромбоцитов. Быстрая активация и ответ на этот рецептор, вероятно, важны в случае больших скоростей течения крови, из-за задержки появления других активаторов [34].

Стимуляция P2X₁-рецептора при помощи АТР зависит от концентрации агониста. Так, низкая концентрация вызывает пик ответа через несколько секунд, который может быть устойчив в течение более 30 сек. Это свойство может внести свой вклад в способность P2X₁ поддерживать уровень Ca²⁺ и секреции во время стимуляции более мощных агонистов тромбоцитов [40]. В противоположность этому (при максимальных концентрациях агониста) активация P2X₁ рецептора происходит в течении десятков миллисекунд, а его полная десенсibilизация проходит в течение нескольких секунд [41].

Тромбоциты мышей, лишенных P2X₁-рецепторов, не проявляли нормальной агрегации, секреции, адгезии, роста тромбов и имели низкую смертность [42]. Такие мыши демонстрировали устойчивость к тромбоэмболии при введении коллагена и адреналина [33]. А трансгенные мыши с повышенной экспрессией этого рецептора обладали повышенной чувствительностью тромбоцитов на малые концентрации коллагена и ТхА₂, несмотря на нормальный ответ на ADP и тромбин [43], демонстрируя при этом увеличенную смертность. Важно отметить, что в одном сравнительном исследовании P2X₁^{-/-}, P2Y₁^{-/-} и P2Y₁₂^{-/-} мышей [44], уменьшение площади тромба после потери P2X₁ (снижение до ≈23 % от контроля) было также велико, как и при отсутствии либо P2Y₁, либо P2Y₁₂ рецептора. Все это указывает на то, что P2 пуринорецепторы тромбоцитов представляют собой потенциально важную мишень для антитромботической терапии.

Роль ионов кальция в активации тромбоцитов. Ионы кальция являются необходимым внеклеточным фактором не только для активации гликопротеина, но и важным внутриклеточным регулятором. Резкое нарастание концентрации этих ионов в цитоплазме играет ключевую роль в определении функциональной активности тромбоцитов, связанной с их агрегацией и реакцией высвобождения, а снижение – с дезагрегацией.

Вход ионов кальция в цитоплазму и активация тромбоцитов осуществляется 2 путями: трансмембранно из внеклеточного пространства и из внутриклеточных депо, представленных рецептор-опосредованными ионными каналами (receptor-mediated Ca²⁺ entry; RMCE) [45] и обратными Na⁺/Ca²⁺-обменниками (Na⁺/Ca²⁺ exchanger; NCX).

Существуют следующие типы RMCE-каналов: рецептор-управляемые каналы (receptor-operated channel; ROC), вторично-управляемые каналы (second messenger-operated channel; SMOC) и депо-управляемые кальциевые каналы (store-operated calcium channel; SOCC) [46]. К ROC относятся пуринорецепторы тромбоцитов и другие рецепторы плазматической мембраны. SMOC открываются с помощью таких специфических вторичных посредников, как фосфолипаза C и инозитолфосфат. Данные типы рецепторов способствуют притоку кальция из внутриклеточных депо (P2Y₁, IP₃R). SOC каналы способствуют притоку кальция из внутренних депо (плотной трубчатой системы и кислотных органелл) и активируются при изменении внутриклеточной [Ca²⁺].

Механизмы депо-зависимого поступления ионов кальция в цитоплазму. Механизм секреции кальция из внутриклеточных хранилищ был назван депо-управляемым поступлением кальция (store-operated calcium entry; SOCE). Функционирование SOCE осуществляется за счет молекулы взаимодействия стромы 1 (stromal interaction molecule 1; STIM1), являющейся Ca²⁺ сенсорной молекулой. STIM1 содержит два N-концевых EF домена в просвете DTS, способных связывать ионы кальция. После опустошения депо, это связывание нарушается и STIM1 перераспределяет и открывает SOC каналы в мембране [47].

SOC каналы способствуют притоку кальция из внеклеточного пространства, активируясь в результате истощения Ca²⁺ во внутриклеточных хранилищах, вызываемого посредством стимуляции поверхностных рецепторов. В качестве SOC каналов в тромбоцитах выступают члены семейства каналов переходного рецепторного потенциала (transient receptor potential) (TRP). Известно, что фосфатидилинозитол 3-киназы и фосфатидилинозитол 4-киназы (PI₃K и PI₄K) и внеклеточная-регулируемая киназа (extracellular signal-regulated kinase; ERK) участвуют во входе внеклеточного Ca²⁺, путем активации Ca²⁺-проницаемого канала и TRPC1 (transient receptor potential channel 1), связываясь с IP₃R типа II [48]. В тромбоцитах также существует TRPC6, осуществляющий перенос ионов кальция из внеклеточного пространства, и было продемонстрировано, что он формируется без SOC канала [49].

Кроме того, было обнаружено, что в мышечных мегакариоцитах, тромбоцитах человека и мегакариоцитарных клеточных линиях наблюдались высокие уровни экспрессии белка Orai1 (calcium release-activated calcium channel protein 1), даже выше, чем у других членов семейства каналов переходного рецепторного потенциала [50]. Позже, было подтверждено, что Orai1 является основным SOC каналом на поверхности тромбоцитов [51].

Принимая во внимание тот факт, что тромбоциты, в отличие от большинства других не возбудимых клеток, должны очень быстро реагировать на раздражители, то вполне вероятно, что основные клеточные функции должны регулироваться без задержки. Таким образом, SOCE может иметь особое значение для таких процессов, происходящих после адгезии, как первичная активация и агрегация, стабилизация тромба и, возможно, скопления других клеток в месте повреждения.

Таким образом, притока ионов Ca^{2+} из внеклеточного пространства и его высвобождение из внутриклеточных депо оказывается достаточным, чтобы вызвать большинство таких ответов, как изменение формы, активации и секреции гранул [14].

Ca^{2+} -зависимые процессы активации тромбоцитов. Поступление внеклеточного кальция в цитоплазму активирует фосфолипазу A_2 . Фосфолипаза A_2 (PLA_2) относится к надсемейству ферментов, которые катализируют гидролиз мембранных фосфолипидов по sn-2 положению, с образованием свободных жирных кислот и лизофосфолипидов [52]. Из известных четырех типов PLA_2 : секреторной ($sPLA_2$), цитозольной Ca^{2+} -зависимой ($cPLA_2$), цитозольной Ca^{2+} -независимой ($iPLA_2$) и липопротеин-ассоциированной ($Lp-PLA_2$) для изучения процессов активации тромбоцитов наибольший интерес представляет подгруппа кальций-зависимых фосфолипаз, а именно – GIVA PLA_2 (group IVA PLA_2). Эта фосфолипаза – единственная из представленных выше разновидностей обладает повышенным сродством к арахидоновой кислоте в sn-2 положении вследствие наличия активного сайта связывания для серина и аспарагиновой кислоты [53]. Таким образом, в тромбоцитах при действии GIVA PLA_2 на фосфатидилхолин и фосфатидилэтаноламин высвобождается преимущественно арахидоновая кислота [53], которая служит субстратом для синтеза ряда биологически активных веществ.

Дальнейшее превращение арахидоновой кислоты зависит от циклооксигеназ (COX), липоксигеназ и специфических синтетаз, способных превращать продукты циклооксигеназ и липоксигеназ в биологически эйкозаноиды. Так, простагландины образуются при участии циклооксигеназ, лейкотриены и липоксигены – липоксигеназ.

Молекулярные механизмы дезактивации тромбоцитов. Для перехода тромбоцитов в состояние покоя необходимо уменьшение в них уровня цитоплазматического кальция. Отток ионов кальция из цитозоля во внеклеточное пространство осуществляется за счет Ca^{2+} -АТФаз плазматической мембраны (plasma membrane Ca^{2+} ATPase; PMCA) [54] и двух изоформ SERCA (sarco/endoplasmic reticulum Ca^{2+} -ATPase) (SERCA2b и SERCA3) [55], находящихся на поверхности кислотных органелл и тубулярной системы и способствующих возвращению Ca^{2+} во внутриклеточные депо.

Следует отметить, что активность PMCA регулируется с помощью нескольких механизмов, в том числе Ca^{2+} /кальмодулин, фосфатидилинозитол 4,5-бисфосфат, протеинкиназы А и С, а также под действием протеаз [56]. При связывании четырех ионов Ca^{2+} со специфическим белком – кальмодулином образуется комплекс (Ca^{2+} -кальмодулин), обладающий способностью активировать киназу легких цепей миозина, а также фосфорилировать аденилатциклазу и протеинкиназу (за счет Ca^{2+} -кальмодулинзависимых протеинкиназ). Это приводит к снижению их ферментативной активности и уменьшению внутриклеточного содержания cAMP и cGMP.

Антагонистические эффекты cAMP и cGMP опосредованы через cAMP- и cGMP-зависимые протеинкиназы (PKA и PKG), которые фосфорилируют субстратный белок, IP_3RI , ингибируя мобилизацию кальция [57]. А взаимодействие комплекса Ca^{2+} -кальмодулин с фосфодиэстеразой cAMP, напротив, вызывает стимуляцию активности этого фермента и, как следствие, ускоренный метаболизм cAMP до неактивного AMP. Следовательно, общий тромбоцитарный ответ является последствием совокупности всех вышеупомянутых реакций.

Заключение

Суммируя вышесказанное, можно заключить, что для выполнения гемостатической функции, тромбоциты обладают различными адгезивными молекулярными комплексами на мембранной поверхности, специфическими рецепторными структурами и сложными, сопряженными регуляторными механизмами для реализации ответов как на определенные наборы стимулов, так и на строго специфические отдельные сигналы, приводящие вначале к адгезии и агрегации, а также к последующим процессам дезактивации, дезагрегации. Хотя инициирующие агрегацию агонисты могут отличаться по своим характеристикам и действовать на разные рецепторы тромбоцитов, вызывая активацию различных сигнальных путей, общий результат их действия сводится к изменению в цитоплазме концентрации свободных ионов кальция, секреции биологически активных соединений из внутриклеточных структур, запуску синтеза тех или иных разновидностей эйкозаноидов, способствующих в совокупности, активации или дезактивации, по мере необходимости, кровяных пластинок.

Библиографические ссылки

1. Eskin S. G., McIntire L. V. Rheology of Thrombosis // Hemostasis and thrombosis: basic principles and clinical practice / Lippincott Williams & Wilkins; ed. R.W. Colman. Pub. 5th ed. Philadelphia, PA. 2006.
2. Струкова С. М. Современные представления о механизмах свертывания крови // Тромбы, кровоточивость и болезни сосудов. 2002. № 2. С. 21–27.
3. Li R., Emsley J. The organizing principle of the platelet glycoprotein Ib-IX-V complex // J. Thromb. Haemost. 2013. Vol. 11, № 4. P. 605–614.
4. Schmugge M., Rand M. L., Freedman J. Platelets and von Willebrand factor // Transfus. Apher. Sci. 2003. Vol. 28, № 3. P. 269–277.
5. Canobbio I., Balduini C., Torti M. Signalling through the platelet glycoprotein Ib-V-IX complex // Cell. Signal. 2004. Vol. 16, № 12. P. 1329–1344.
6. Шатурный В. И., Шахиджанов С. С., Свешникова А. Н. и др. Активаторы, рецепторы и пути внутриклеточной сигнализации в тромбоцитах крови // Биомед. химия. 2014. Т. 60, № 2. С. 182–200.
7. Moroi M., Jung S. M. Platelet glycoprotein VI: its structure and function // Thromb. Res. 2004. Vol. 114, № 4. P. 221–233.
8. Plow E. F., Pesho M. M., Ma Y.-Q. Integrin α Ib β 3 // Platelets (Second Edition) – Academic Press; ed. A. D. Michelson. Burlington, 2007.
9. French D. L., Seligsohn U. Platelet Glycoprotein IIb/IIIa Receptors and Glanzmann's Thrombasthenia // Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. 2000. Vol. 20, № 3. P. 607–610.
10. Liu M.-Y., Ren Y.-P., Wei W.-L. et al. Changes of Serotonin (5-HT), 5-HT_{2A} Receptor, and 5-HT Transporter in the Sprague-Dawley Rats of Depression, Myocardial Infarction and Myocardial Infarction Co-exist with Depression // Chin. Med. J. (Engl.). 2015. Vol. 128, № 14. P. 1905–1909.
11. Honda Z., Nakamura M., Miki I., et al. Cloning by Functional Expression of Platelet-Activating Factor Receptor from Guinea-Pig Lung // Nature. 1991. Vol. 369, № 6307. P. 342–346.
12. Jennings L. K. Mechanisms of platelet activation: need for new strategies to protect against platelet-mediated atherothrombosis // Thromb Haemost. 2009. Vol. 102, № 2. P. 248–257.
13. Abe T., Takeuchi K., Takahashi N., et al. Rat kidney thromboxane receptor: molecular cloning, signal transduction, and intrarenal expression localization // J. Clin. Invest. 1995. Vol. 96, № 2. P. 657–664.
14. Varga-Szabo D., Braun A., Nieswandt B. Calcium signaling in platelets // J. Thromb. Haemost. 2009. Vol. 7, № 7. P. 1057–1066.
15. Berridge M. J., Bootman M. D., Roderick H. L. Calcium signalling: dynamics, homeostasis and remodelling // Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 2003. Vol. 4, № 7. P. 517–529.
16. McNicol A., Shibou T. S., Pampolina C., et al. Incorporation of map kinases into the platelet cytoskeleton // Thromb. Res. 2001. Vol. 103, № 1. P. 25–34.
17. Ohlmann P., Eckly A., Freund M., et al. ADP induces partial platelet aggregation without shape change and potentiates collagen-induced aggregation in the absence of G α_q // Blood. 2000. Vol. 96, № 6. P. 2134–2139.
18. Huang J. S., Ramamurthy S. K., Lin X., et al. Cell signalling through thromboxane A₂ receptors // Cell. Signal. 2004. Vol. 16, № 5. P. 521–533.
19. Gratacap M. P., Payrastré B., Nieswandt B., et al. Differential regulation of Rho and Rac through heterotrimeric G-proteins and cyclic nucleotides // J. Biol. Chem. 2001. Vol. 276, № 51. P. 47906–47913.
20. Ghoshal K., Bhattacharyya M. Overview of Platelet Physiology: Its Hemostatic and Nonhemostatic Role in Disease Pathogenesis // Sci. World J. 2014. P. 1–16.
21. Knights K. M., Mangoni A. A., Miners J. O. Defining the COX inhibitor selectivity of NSAIDs: implications for understanding toxicity // Expert Rev. Clin. Pharmacol. 2010. Vol. 3, № 6. P. 769–776.
22. Kahn M. L., Zheng Y. W., Huang W., et al. A dual thrombin receptor system for platelet activation // Nature. 1998. Vol. 394, № 6694. P. 690–694.
23. De Candia E. Mechanisms of platelet activation by thrombin: A short history // Thromb. Res. 2012. Vol. 129, № 3. P. 250–256.
24. Stalker T. J., Newman D. K., Ma P., et al. Platelet Signaling // Handb. Exp. Pharmacol. 2012. № 210. P. 59–85.
25. Kennedy C. The discovery and development of P₂ receptor subtypes // J. Auton. Nerv. Syst. 2000. Vol. 81, № 1. P. 158–163.
26. Clifford E. E., Parker K., Humphreys B. D., et al. The P_{2X}₁ Receptor, an Adenosine Triphosphate-Gated Cation Channel, Is Expressed in Human Platelets but not in Human Blood Leukocytes // Blood. 1998. Vol. 91, № 9. P. 3172–3181.
27. Rozalski M., Nocun M., Watala C. Adenosine diphosphate receptors on blood platelets-potential new targets for antiplatelet therapy // ACTA Biochim. Pol. 2005. Vol. 52, № 2. P. 411–415.
28. Brass L. F., Stalker T. J. Mechanisms of platelet activation // Platelets Hematol. Cardiovasc. Disord. Camb. Univ. Press. 2008. P. 37–52.
29. Léon C., Hechler B., Freund M., et al. Defective platelet aggregation and increased resistance to thrombosis in purinergic P_{2Y}₁₂ receptor-null mice // J. Clin. Invest. 1999. Vol. 104, № 12. P. 1731–1737.
30. Remijn J. A., Wu Y. P., Jeninga E. H., et al. Role of ADP Receptor P_{2Y}₁₂ in Platelet Adhesion and Thrombus Formation in Flowing Blood // Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. 2002. Vol. 22, № 4. P. 686–691.
31. Foster C. J., Prosser D. M., Agans J. M., et al. Molecular identification and characterization of the platelet ADP receptor targeted by thienopyridine antithrombotic drugs // J. Clin. Invest. 2001. Vol. 107, № 12. P. 1591–1598.
32. Daniel J. L., Dangelmaier C., Jin J., et al. Molecular basis for ADP-induced platelet activation. I. Evidence for three distinct ADP receptors on platelets // J. Biol. Chem. 1998. Vol. 273, № 4. P. 2024–2029.
33. Hechler B., Lenain N., Marchese P., et al. A Role of the Fast ATP-gated P_{2X}₁ Cation Channel in Thrombosis of Small Arteries In Vivo // J. Exp. Med. 2003. Vol. 198, № 4. P. 661–667.
34. Toth-Zsomboki E., Oury C., Cornelissen H., et al. P_{2X}₁-mediated ERK₂ Activation Amplifies the Collagen-induced Platelet Secretion by Enhancing Myosin Light Chain Kinase Activation // J. Biol. Chem. 2003. Vol. 278, № 47. P. 46661–46667.
35. Oury C., Toth-Zsomboki E., Vermeylen J., et al. P_{2X}₁-mediated activation of extracellular signal-regulated kinase 2 contributes to platelet secretion and aggregation induced by collagen // Blood. 2002. Vol. 100, № 7. P. 2499–2505.

36. Mahaut-Smith M. P., Jones S., Evans R. J. The P2X1 receptor and platelet function // *Purinergic Signal*. 2011. Vol. 7, № 3. P. 341–356.
37. Bergmeier W., Stefanini L. Novel molecules in calcium signaling in platelets // *J. Thromb. Haemost.* 2009. Vol. 7. P. 187–190.
38. Vial C., Rolf M. G., Mahaut-Smith M. P., et al. A study of P2X1 receptor function in murine megakaryocytes and human platelets reveals synergy with P2Y receptors // *Br. J. Pharmacol.* 2002. Vol. 135, № 2. P. 363–372.
39. Jin J., Kunapuli S. P. Coactivation of two different G protein-coupled receptors is essential for ADP-induced platelet aggregation // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1998. Vol. 95, № 14. P. 8070–8074.
40. Fung C. Y. E., Cendana C., Farndale R. W., et al. Primary and secondary agonists can use P2X1 receptors as a major pathway to increase intracellular Ca²⁺ in the human platelet // *J. Thromb. Haemost.* 2007. Vol. 5, № 5. P. 910–917.
41. Valera S., Hussy N., Evans R. J., et al. A new class of ligand-gated ion channel defined by P2X receptor for extracellular ATP // *Nature*. 1994. Vol. 371, № 6497. P. 516–519.
42. Hechler B., Nonne C., Roh E. J., et al. MRS2500 [2-Iodo-N6-methyl-(N)-methanocarpa-2'-deoxyadenosine-3',5'-bisphosphate], a Potent, Selective, and Stable Antagonist of the Platelet P2Y1 Receptor with Strong Antithrombotic Activity in Mice // *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 2006. Vol. 316, № 2. P. 556–563.
43. Oury C., Kuijpers M. J., Toth-Zsomboki E., et al. Overexpression of the platelet P2X₁ ion channel in transgenic mice generates a novel prothrombotic phenotype // *Blood*. 2003. Vol. 101, № 10. P. 3969–3976.
44. Erhardt J. A., Toomey J. R., Douglas S. A., et al. P2X1 stimulation promotes thrombin receptor-mediated platelet aggregation // *J. Thromb. Haemost.* 2006. Vol. 4, № 4. P. 882–890.
45. Dobrydyneva Y., Williams R. L., Blackmore P. F. Trans-Resveratrol inhibits calcium influx in thrombin-stimulated human platelets // *Br. J. Pharmacol.* 1999. Vol. 128, № 1. P. 149–157.
46. Sage S. The Wellcome Prize Lecture. Calcium entry mechanisms in human platelets // *Exp. Physiol.* 1997. Vol. 82, № 5. P. 807–823.
47. Liou J., Kim M. L., Heo W. D., et al. STIM Is a Ca²⁺ Sensor Essential for Ca²⁺-Store-Depletion-Triggered Ca²⁺ Influx // *Curr. Biol.* 2005. Vol. 15, № 13. P. 1235–1241.
48. Rosado J. A., Sage S. O. The ERK Cascade, a New Pathway Involved in the Activation of Store-Mediated Calcium Entry in Human Platelets // *Trends Cardiovasc. Med.* 2002. Vol. 12, № 5. P. 229–234.
49. Hassock S. R., Zhu M. X., Trost C., et al. Expression and role of TRPC proteins in human platelets: evidence that TRPC₆ forms the store-independent calcium entry channel // *Blood*. 2002. Vol. 100, № 8. P. 2801–2811.
50. Tolhurst G., Carter R. N., Amisten S., et al. Expression profiling and electrophysiological studies suggest a major role for Orai1 in the store-operated Ca²⁺ influx pathway of platelets and megakaryocytes // *Platelets*. 2008. Vol. 19, № 4. P. 308–313.
51. Authi K. S. Orai1: a channel to safer antithrombotic therapy // *Blood*. 2009. Vol. 113, № 9. P. 1872–1873.
52. Burke J. E., Dennis E. A. Phospholipase A2 structure/function, mechanism, and signaling // *J. Lipid Res.* 2009. Vol. 50. P. S237–S242.
53. Ghosh M., Tucker D. E., Burchett S. A., et al. Properties of the Group IV phospholipase A2 family // *Prog. Lipid Res.* 2006. Vol. 45, № 6. P. 487–510.
54. Rosado J. A., Sage S. O. Regulation of Plasma Membrane Ca²⁺-ATPase by Small GTPases and Phosphoinositides in Human Platelets // *J. Biol. Chem.* 2000. Vol. 275, № 26. P. 19529–19535.
55. Cavallini L., Coassin M., Alexandre A. Two classes of agonist-sensitive Ca²⁺ stores in platelets, as identified by their differential sensitivity to 2,5-di-(tert-butyl)-1,4-benzohydroquinone and thapsigargin // *Biochem. J.* 1995. Vol. 310, № 2. P. 449–452.
56. Monteith G. R., Roufogalis B. D. The plasma membrane calcium pump – a physiological perspective on its regulation // *Cell Calcium*. 1995 Vol. 18, № 6. P. 459–470.
57. Schwarz, U. R. Walter U., Eigenthaler M. Taming platelets with cyclic nucleotides1 // *Biochem. Pharmacol.* 2001. Vol. 62, № 9. P. 1153–1161.

References

1. Eskin S. G., McIntire L. V. Rheology of Thrombosis. Hemostasis and thrombosis: basic principles and clinical practice / Lippincott Williams & Wilkins; ed. R.W. Colman. Pub. 5th ed. Philadelphia, PA. 2006.
2. Strukova S. M. Modern ideas about the mechanisms of blood clotting. *Trombs, Bleeding and Diseases of Vessels*. 2002. No. 2. P. 21–27 (in Russ.).
3. Li R., Emsley J. The organizing principle of the platelet glycoprotein Ib–IX–V complex. *J. Thromb. Haemost.* 2013. Vol. 11, No. 4. P. 605–614.
4. Schmutz M., Rand M. L., Freedman J. Platelets and von Willebrand factor. *Transfus. Apher. Sci.* 2003. Vol. 28, No. 3. P. 269–277.
5. Canobbio I., Balduini C., Torti M. Signalling through the platelet glycoprotein Ib-V-IX complex. *Cell. Signal.* 2004. Vol. 16, No. 12. P. 1329–1344.
6. Shaturny V., Shakhidzhanov S., Sveshnikova A., et al. Activators, receptors and intracellular signaling pathways in blood platelets. *Biomedical Chemistry*. 2014. T. 60, No. 2. P. 182–200.
7. Moroi M., Jung S. M. Platelet glycoprotein VI: its structure and function. *Thromb. Res.* 2004. Vol. 114, No. 4. P. 221–233.
8. Plow E. F., Pesho M. M., Ma Y.-Q. Integrin α Ib β 3 // *Platelets (Second Edition)* – Academic Press; ed. A. D. Michelson. Burlington, 2007.
9. French D. L., Seligsohn U. Platelet Glycoprotein IIb/IIIa Receptors and Glanzmann's Thrombasthenia. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2000. Vol. 20, No. 3. P. 607–610.
10. Liu M.-Y., Ren Y.-P., Wei W.-L. et al. Changes of Serotonin (5-HT), 5-HT_{2A} Receptor, and 5-HT Transporter in the Sprague-Dawley Rats of Depression, Myocardial Infarction and Myocardial Infarction Co-exist with Depression. *Chin. Med. J. (Engl.)*. 2015. Vol. 128, No. 14. P. 1905–1909.
11. Honda Z., Nakamura M., Miki I., et al. Cloning by Functional Expression of Platelet-Activating Factor Receptor from Guinea-Pig Lung. *Nature*. 1991. Vol. 369, No. 6307. P. 342–346.

12. Jennings L. K. Mechanisms of platelet activation: need for new strategies to protect against platelet-mediated atherothrombosis. *Thromb Haemost.* 2009. Vol. 102, No. 2. P. 248–257.
13. Abe T., Takeuchi K., Takahashi N., et al. Rat kidney thromboxane receptor: molecular cloning, signal transduction, and intrarenal expression localization. *J. Clin. Invest.* 1995. Vol. 96, No. 2. P. 657–664.
14. Varga-Szabo D., Braun A., Nieswandt B. Calcium signaling in platelets. *J. Thromb. Haemost.* 2009. Vol. 7, No. 7. P. 1057–1066.
15. Berridge M. J., Bootman M. D., Roderick H. L. Calcium signalling: dynamics, homeostasis and remodeling. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2003. Vol. 4, No. 7. P. 517–529.
16. McNicol A., Shibui T. S., Pampolina C., et al. Incorporation of map kinases into the platelet cytoskeleton. *Thromb. Res.* 2001. Vol. 103, No. 1. P. 25–34.
17. Ohlmann P., Eckly A., Freund M., et al. ADP induces partial platelet aggregation without shape change and potentiates collagen-induced aggregation in the absence of Gαq. *Blood.* 2000. Vol. 96, No. 6. P. 2134–2139.
18. Huang J. S., Ramamurthy S. K., Lin X., et al. Cell signalling through thromboxane A2 receptors. *Cell. Signal.* 2004. Vol. 16, No. 5. P. 521–533.
19. Gratacap M. P., Payrastra B., Nieswandt B., et al. Differential regulation of Rho and Rac through heterotrimeric G-proteins and cyclic nucleotides. *J. Biol. Chem.* 2001. Vol. 276, No. 51. P. 47906–47913.
20. Ghoshal K., Bhattacharyya M. Overview of Platelet Physiology: Its Hemostatic and Nonhemostatic Role in Disease Pathogenesis. *Sci. World J.* 2014. P. 1–16.
21. Knights K. M., Mangoni A. A., Miners J. O. Defining the COX inhibitor selectivity of NSAIDs: implications for understanding toxicity. *Expert Rev. Clin. Pharmacol.* 2010. Vol. 3, No. 6. P. 769–776.
22. Kahn M. L., Zheng Y. W., Huang W., et al. A dual thrombin receptor system for platelet activation. *Nature.* 1998. Vol. 394, No. 6694. P. 690–694.
23. De Candia E. Mechanisms of platelet activation by thrombin: A short history. *Thromb. Res.* 2012. Vol. 129, No. 3. P. 250–256.
24. Stalker T. J., Newman D. K., Ma P., et al. Platelet Signaling. *Handb. Exp. Pharmacol.* 2012. No. 210. P. 59–85.
25. Kennedy C. The discovery and development of P2 receptor subtypes. *J. Auton. Nerv. Syst.* 2000. Vol. 81, No. 1. P. 158–163.
26. Clifford E. E., Parker K., Humphreys B. D., et al. The P2X₁ Receptor, an Adenosine Triphosphate-Gated Cation Channel, Is Expressed in Human Platelets but not in Human Blood Leukocytes. *Blood.* 1998. Vol. 91, No. 9. P. 3172–3181.
27. Rozalski M., Nocun M., Watala C. Adenosine diphosphate receptors on blood platelets-potential new targets for antiplatelet therapy. *ACTA Biochim. Pol.* 2005. Vol. 52, No. 2. P. 411–415.
28. Brass L. F., Stalker T. J. Mechanisms of platelet activation. *Platelets Hematol. Cardiovasc. Disord. Camb. Univ. Press.* 2008. P. 37–52.
29. Léon C., Hechler B., Freund M., et al. Defective platelet aggregation and increased resistance to thrombosis in purinergic P₂Y₁ receptor-null mice. *J. Clin. Invest.* 1999. Vol. 104, No. 12. P. 1731–1737.
30. Remijn J. A., Wu Y. P., Jenning E. H., et al. Role of ADP Receptor P₂Y₁₂ in Platelet Adhesion and Thrombus Formation in Flowing Blood. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2002. Vol. 22, No. 4. P. 686–691.
31. Foster C. J., Prosser D. M., Agans J. M., et al. Molecular identification and characterization of the platelet ADP receptor targeted by thienopyridine antithrombotic drugs. *J. Clin. Invest.* 2001. Vol. 107, No. 12. P. 1591–1598.
32. Daniel J. L., Dangelmaier C., Jin J., et al. Molecular basis for ADP-induced platelet activation. I. Evidence for three distinct ADP receptors on platelets. *J. Biol. Chem.* 1998. Vol. 273, No. 4. P. 2024–2029.
33. Hechler B., Lenain N., Marchese P., et al. A Role of the Fast ATP-gated P2X₁ Cation Channel in Thrombosis of Small Arteries In Vivo. *J. Exp. Med.* 2003. Vol. 198, No. 4. P. 661–667.
34. Toth-Zsomboki E., Oury C., Cornelissen H., et al. P2X₁-mediated ERK2 Activation Amplifies the Collagen-induced Platelet Secretion by Enhancing Myosin Light Chain Kinase Activation. *J. Biol. Chem.* 2003. Vol. 278, No. 47. P. 46661–46667.
35. Oury C., Toth-Zsomboki E., Vermeylen J., et al. P2X₁-mediated activation of extracellular signal-regulated kinase 2 contributes to platelet secretion and aggregation induced by collagen. *Blood.* 2002. Vol. 100, No. 7. P. 2499–2505.
36. Mahaut-Smith M. P., Jones S., Evans R. J. The P2X₁ receptor and platelet function. *Purinergic Signal.* 2011. Vol. 7, No. 3. P. 341–356.
37. Bergmeier W., Stefanini L. Novel molecules in calcium signaling in platelets. *J. Thromb. Haemost.* 2009. Vol. 7. P. 187–190.
38. Vial C., Rolf M. G., Mahaut-Smith M. P., et al. A study of P2X₁ receptor function in murine megakaryocytes and human platelets reveals synergy with P2Y receptors. *Br. J. Pharmacol.* 2002. Vol. 135, No. 2. P. 363–372.
39. Jin J., Kunapuli S. P. Coactivation of two different G protein-coupled receptors is essential for ADP-induced platelet aggregation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1998. Vol. 95, No. 14. P. 8070–8074.
40. Fung C. Y. E., Cendana C., Farndale R. W., et al. Primary and secondary agonists can use P2X₁ receptors as a major pathway to increase intracellular Ca²⁺ in the human platelet. *J. Thromb. Haemost.* 2007. Vol. 5, No. 5. P. 910–917.
41. Valera S., Hussy N., Evans R. J., et al. A new class of ligand-gated ion channel defined by P2X receptor for extracellular ATP. *Nature.* 1994. Vol. 371, No. 6497. P. 516–519.
42. Hechler B., Nonne C., Roh E. J., et al. MRS2500 [2-Iodo-N⁶-methyl-(N)-methanocarba-2'-deoxyadenosine-3',5'-bisphosphate], a Potent, Selective, and Stable Antagonist of the Platelet P2Y₁ Receptor with Strong Antithrombotic Activity in Mice. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 2006. Vol. 316, No. 2. P. 556–563.
43. Oury C., Kuijpers M. J., Toth-Zsomboki E., et al. Overexpression of the platelet P2X₁ ion channel in transgenic mice generates a novel prothrombotic phenotype. *Blood.* 2003. Vol. 101, No. 10. P. 3969–3976.
44. Erhardt J. A., Toomey J. R., Douglas S. A., et al. P2X₁ stimulation promotes thrombin receptor-mediated platelet aggregation. *J. Thromb. Haemost.* 2006. Vol. 4, No. 4. P. 882–890.
45. Dobryднева Y., Williams R. L., Blackmore P. F. trans-Resveratrol inhibits calcium influx in thrombin-stimulated human platelets. *Br. J. Pharmacol.* 1999. Vol. 128, No. 1. P. 149–157.
46. Sage S. The Wellcome Prize Lecture. Calcium entry mechanisms in human platelets. *Exp. Physiol.* 1997. Vol. 82, No. 5. P. 807–823.
47. Liou J., Kim M. L., Heo W. D., et al. STIM Is a Ca²⁺ Sensor Essential for Ca²⁺-Store-Depletion-Triggered Ca²⁺ Influx. *Curr. Biol.* 2005. Vol. 15, No. 13. P. 1235–1241.
48. Rosado J. A., Sage S. O. The ERK Cascade, a New Pathway Involved in the Activation of Store-Mediated Calcium Entry in Human Platelets. *Trends Cardiovasc. Med.* 2002. Vol. 12, No. 5. P. 229–234.

49. Hassock S. R., Zhu M. X., Trost C., et al. Expression and role of TRPC proteins in human platelets: evidence that TRPC₆ forms the store-independent calcium entry channel. *Blood*. 2002. Vol. 100, No. 8. P. 2801–2811.
50. Tolhurst G., Carter R. N., Amisten S., et al. Expression profiling and electrophysiological studies suggest a major role for Orai1 in the store-operated Ca²⁺ influx pathway of platelets and megakaryocytes. *Platelets*. 2008. Vol. 19, No. 4. P. 308–313.
51. Authi K. S. Orai1: a channel to safer antithrombotic therapy. *Blood*. 2009. Vol. 113, No. 9. P. 1872–1873.
52. Burke J. E., Dennis E. A. Phospholipase A₂ structure/function, mechanism, and signaling. *J. Lipid Res*. 2009. Vol. 50. P. S237–S242.
53. Ghosh M., Tucker D. E., Burchett S. A., et al. Properties of the Group IV phospholipase A₂ family. *Prog. Lipid Res*. 2006. Vol. 45, No. 6. P. 487–510.
54. Rosado J. A., Sage S. O. Regulation of Plasma Membrane Ca²⁺-ATPase by Small GTPases and Phosphoinositides in Human Platelets. *J. Biol. Chem*. 2000. Vol. 275, No. 26. P. 19529–19535.
55. Cavallini L., Coassin M., Alexandre A. Two classes of agonist-sensitive Ca²⁺ stores in platelets, as identified by their differential sensitivity to 2,5-di-(tert-butyl)-1,4-benzohydroquinone and thapsigargin. *Biochem. J*. 1995. Vol. 310, No. 2. P. 449–452.
56. Monteith G. R., Roufogalis B. D. The plasma membrane calcium pump – a physiological perspective on its regulation. *Cell Calcium*. 1995 Vol. 18, No. 6. P. 459–470.
57. Schwarz, U. R. Walter U., Eigenthaler M. Taming platelets with cyclic nucleotides. *Biochem. Pharmacol*. 2001. Vol. 62, No. 9. P. 1153–1161.

Статья поступила в редколлегию 21.11.2017
Received by editorial board 21.11.2017

ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ЙОДИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЕ НОВЫХ ЙОДСОДЕРЖАЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК

К. В. ОМЕЛЬЧЕНКО¹⁾, М. О. ПОЛУМБРИК¹⁾, В. В. ЛИТВЯК²⁾, А. Н. БАТЯН³⁾, В. А. КРАВЧЕНКО³⁾

¹⁾Национальный университет пищевых технологий,
ул. Владимирская, 68, 01601, Киев, Украина

²⁾РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Беларусь

³⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Разработан инновационный способ йодирования продуктов питания, заметно повышающий йодный статус и проявляющийся в повышении уровня тиреоидных гормонов, что подтверждается результатами исследования йодурии. Анализ свойств комплекса «гость -хозяин» между β -ЦД и йодом указывают на то, что данная добавка может быть перспективной для обогащения пищевых продуктов йодом в современных экологических условиях.

Ключевые слова: функциональная добавка; йод; йодирование; циклодекстрин.

Образец цитирования:

Омельченко К. В., Полумбрик М. О., Литвяк В. В., Батян А. Н., Кравченко В. А. Инновационный способ йодирования продуктов питания путем введение новых йодсодержащих функциональных добавок // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 52–62.

For citation:

Omelchenko C. V., Polumbryk M. O., Litvyak V. V., Batian A. N., Kravchenko V. A. An innovative way of iodization of food products through the introduction of a new iodine-containing functional additives. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 52–62 (in Russ.).

Авторы:

Кристина Владимировна Омельченко – старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности.

Максим Олегович Полумбрик – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры безопасной жизнедеятельности, докторант.

Владимир Владимирович Литвяк – доктор технических наук, доцент.

Анатолий Николаевич Батян – доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой экологической медицины и радиобиологии.

Вячеслав Анатольевич Кравченко – кандидат биологических наук; доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии.

Authors:

Christina V. Omelchenko, senior lecturer of the department of life safety.

info@nuft.edu.ua

Maksim O. Polumbryk, PhD (engineering), associate professor; associate professor of the department of life safety, doctoral student.

info@nuft.edu.ua

Vladimir V. Litvyak, doctor of science (engineering), associate professor.

besserk1974@mail.ru

Anatoly N. Batian, doctor of science (medicine), professor; head of the department of environmental medicine and radiobiology.

ant_b@nut.by

Viacheslav A. Kravchenko, PhD (biology); associate professor of the department of environmental medicine and radiobiology.

kravchenko.v.anat@gmail.com

AN INNOVATIVE WAY OF IODIZATION OF FOOD PRODUCTS THROUGH THE INTRODUCTION OF A NEW IODINE-CONTAINING FUNCTIONAL ADDITIVES

C. V. OMELCHENKO^a, M. O. POLUMBRYK^a, V. V. LITVYAK^b, A. N. BATIAN^c, V. A. KRAVCHENKO^c

^aNational University of Food Technologies, Vladimirskaya street, 68, 01601, Kiev, Ukraine

^bPractical Center for foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus,
Kozlova street, 29, 220037, Minsk, Belarus

^cBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

Corresponding author: info@nuft.edu.ua

The complex formed by interaction between α -CD and/or β -CD and iodine has developed. It has found, that complex utilization in the human diet resulted in significant rise of urinary iodine excretion, and therefore, these compounds markedly improve iodine status of the humans. The additive can be promising for food fortification with iodine in modern ecological conditions.

Key words: functional additive; iodine; iodination; cyclodextrins.

Введение

Йод играет важную роль для поддержания жизнедеятельности организма человека. Дефицит этого микроэлемента негативно влияет на синтез гормонов щитовидной железы, необходимых для метаболизма у взрослых и, особенно, для нормального развития детей. В результате возникает ряд таких заболеваний, как эндемический зоб, кретинизм, ухудшение репродуктивной функции, рост детской смертности и умственные расстройства.

Необходимо подчеркнуть, что от общего количества выброшенных радионуклидов из реактора в результате аварии на Чернобыльской АЭС, 25 % составлял йод-131. Уровни радиоактивного загрязнения короткоживущими радионуклидами йода были настолько велики, что вызванное ими облучение квалифицируется как период «йодно-нептуниевого удара». На отдельных участках территории Беларуси активность ¹³¹I в почве достигала 37000 кБк/м². Являясь β - и γ -излучателем и находясь в аэрозольном состоянии, йод-131 нанес основной удар по щитовидной железе людям с дефицитом йода. ¹³¹I легко проникает в овощи, ягоды, молоко и поэтому представляет особую опасность для человека [1].

В промышленно развитых странах, испытывавших природный дефицит йода (США, Канада, Швейцария, Великобритания, Скандинавские страны, Австралия), реализация программ йодной профилактики привела к ликвидации йоддефицитных заболеваний [2]. Йодирование молока, яиц, мяса осуществляется за счет использования йодсодержащих добавок в пищевом рационе животных, а также применения йодсодержащих лекарственных средств. При этом за счет ликвидации дефицита йода у животных повышается эффективность сельскохозяйственного производства и качество готовой продукции. Содержание йода в курином мясе находится в прямой зависимости от содержания йода в корме. По данным европейских исследователей, среднее содержание йода в грудных мышцах мяса кур может варьироваться от 56 до 1248 мкг/кг. Значительные успехи в ликвидации дефицита йода достигнуты в Республике Беларусь [3; 4].

В Украине отсутствует законодательная база по использованию йодированной соли при производстве продуктов питания, недостаточно пропагандируется использование йодированной соли в домохозяйствах, а также недостаточное применение йодата калия для стабилизации и повышения устойчивости йодированной соли. В работах известных эндокринологов, доктора медицинских наук В. И. Кравченко и доктора медицинских наук М. Е. Маменко, освещены проблемы йодного дефицита в Украине и влияния йодного дефицита и зобогенов окружающей среды на возникновение патологий у детей. По результатам исследований, около 38 млн украинцев испытывают йодный дефицит различной степени. Из 417 тыс. ежегодно рождающихся детей 341 тыс. имеют врожденный йодный дефицит. По экспертным заключениям, Украина по уровню проведения йодной профилактики занимает последние места в мировом списке [5–7].

Использование йодированной соли имеет следующие недостатки: излишки соли вредны для организма человека, а при некоторых заболеваниях соль вообще противопоказана. Йод находится в соли в виде нестойкого химического соединения, что приводит к значительной его потере во время технологической обработки при производстве пищевых продуктов, которые, по некоторым данным, могут достигать 67 %. Негативное влияние на качественные показатели готовых изделий при длительном хранении и термической обработке йода теряется.

Таким образом, возникает необходимость разработки и использования йодсодержащих пищевых добавок, обладающих повышенной способностью к синтезу тироксина и трийодтиронина в щитовидной железе человека. Поскольку биосинтез указанных гормонов в щитовидной железе происходит с молекулярным йодом, то целесообразным является получение комплексов по типу «гость–хозяин» с этим соединением. Это позволит существенно уменьшить токсичность йода, обеспечивая при этом контролируемый синтез основных гормонов щитовидной железы. Кроме того, эти соединения должны обладать такими свойствами, как ограниченная растворимость в воде, стабильность при технологической обработке и хранении, отсутствие негативного влияния на качество готовых изделий, высокая биологическая доступность, безвредность, возможность взаимодействия с компонентами пищевого продукта с образованием биологически активных соединений и низкая стоимость. Важным этапом исследований является установление точной структуры указанных комплексов.

Цель исследования – разработка инновационного способа йодирования продуктов питания в современных экологических условиях путем введения новых йодсодержащих функциональных добавок.

Материалы и методы исследования

По нашему мнению, в настоящее время наиболее перспективным способом обогащения пищевых продуктов микроэлементами является использование в качестве обогащающих ингредиентов комплексов микроэлементов с циклодекстринами. Циклодекстрины – циклические невосстанавливаемые олигомеры α -D-глюкопиранозы, которые образуются вследствие трансформации крахмала такими специфическими бактериями, как *Bacillus macerans*. К их основным типам относят α -ЦД, образованные из шести фрагментов глюкопиранозы, β -ЦД, состоящие из семи ее остатков, а также γ -ЦД, в которые входят восемь фрагментов глюкопиранозы (табл. 1).

Таблица 1

Свойства циклодекстринов

Table 1

Properties of cyclodextrins

Свойства	α -ЦД	β -ЦД	γ -ЦД
Число остатков глюкозы в макроцикле	6	7	8
Молекулярный вес, Да	972,85	1134,99	1297,14
Внешний диаметр тора, Å	13,7	15,3	16,9
Внутренний диаметр полости тора, Å	5,2	6,6	8,4
Высота тора, Å	7,8	7,8	7,8
Объем внутренней полости, Å ³	174	262	472
Физический объем полости в навеске 1 г ЦД, мл	0,1	0,14	0,2
Частичный молярный объем в растворах, мл·моль ⁻¹	611,4	703,8	801,2
Растворимость в воде при 25 °С, г/100 мл	14,5	1,85	23,2
Температура разложения, °С	278	299	267

Эти циклические углеводы имеют полость диаметром 0,5–0,8 нм, способную вместить 6–17 молекул воды.

Небольшие органические молекулы могут замещать воду в полости ЦД, при этом образуются соединения включения типа «гость–хозяин» – происходит так называемая супрамолекулярная инкапсуляция (рис. 1).

Кольцо, которое составляет ЦД, в действительности является цилиндром, точнее коническим цилиндром, пространство которого ограничено водородными связями и гликозидными кислородными мостиками.

Для определения структуры комплексов йода с циклодекстринами (ЦД) использовали метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Метод СЭМ широко применяется с целью определения структуры поверхности макромолекул, а также позволяет определить элементный состав и формы связи образцов [8]. Морфология поверхности образцов исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6700F (JEOL, Япония) в Институте геохимии, минералогии и рудообразования

им. Н. П. Семеново НАН Украины. Предварительно на поверхность образцов, для стекания с них электрического заряда, наносилось платиновое напыление с толщиной пленки 100 Å. Съемка выполнялась при ускоряющем напряжении 5 кВ, токе зонда 0,65 нА.

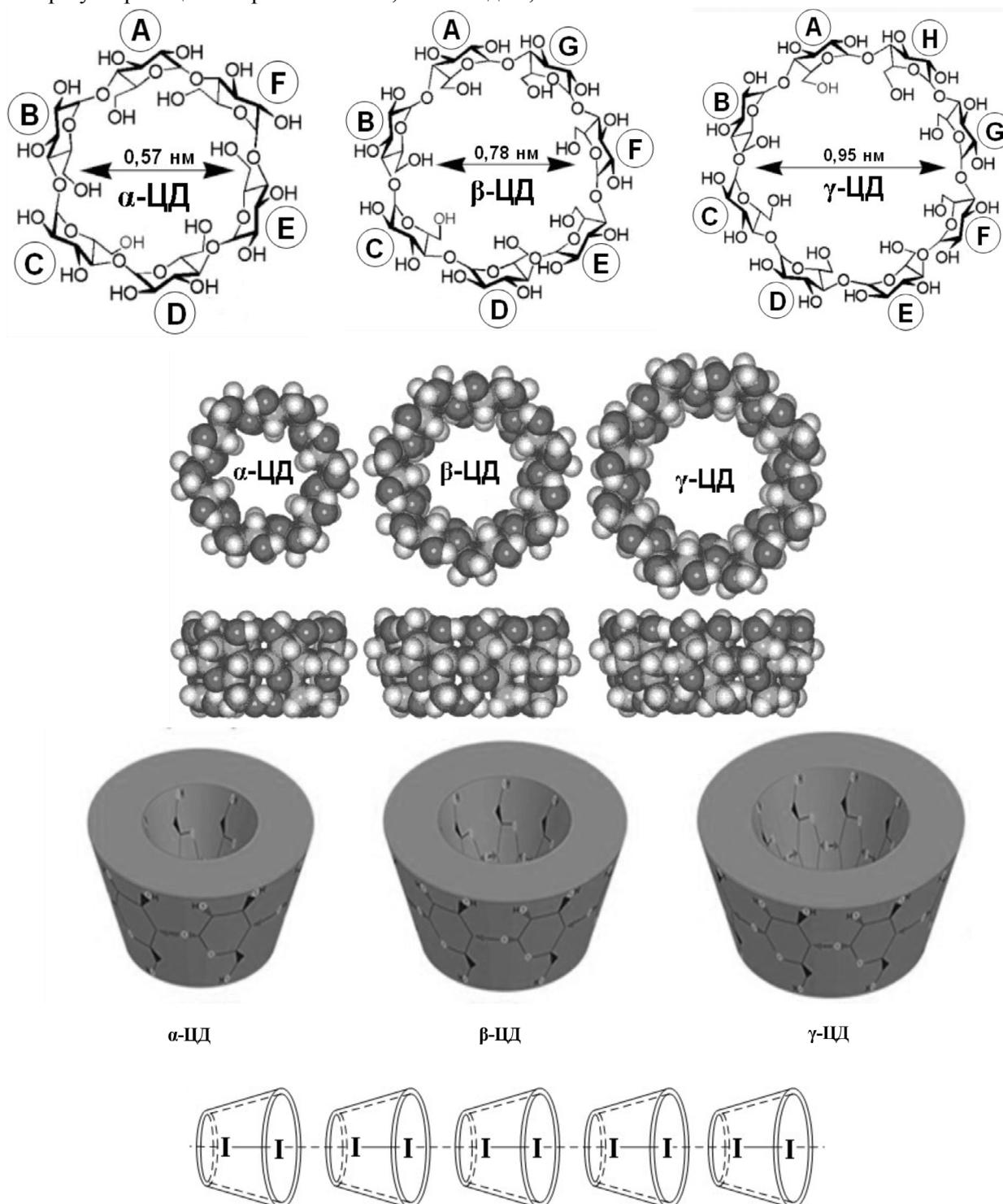


Рис. 1. Особенности строения циклодекстринов и йодсодержащей добавки:
ЦД – циклодекстрин; А, В, С, D, E, F, G, H – глюкопиранозные звенья ЦД; I – йод; 1 – особенности строения ЦД;
2 – структура включения молекул йода («гостя») во внутреннюю полость молекулы ЦД («хозяина»)

Fig. 1. Features of the structure of cyclodextrins and iodine-containing additives:
CD – cyclodextrin; A, B, C, D, E, F, G, H – glucopyranose links of CD; I – iodine; 1 – features of the structure of CD;
2 – structure of inclusion of iodine molecules («guest») in the internal cavity of the CD molecule («host»)

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследований синтезированы комплексы α - и β -циклодекстрина с йодом и изучилось строение и свойства этих веществ. Результаты исследований структуры поверхности опытных образцов представлены на рис. 2–5.

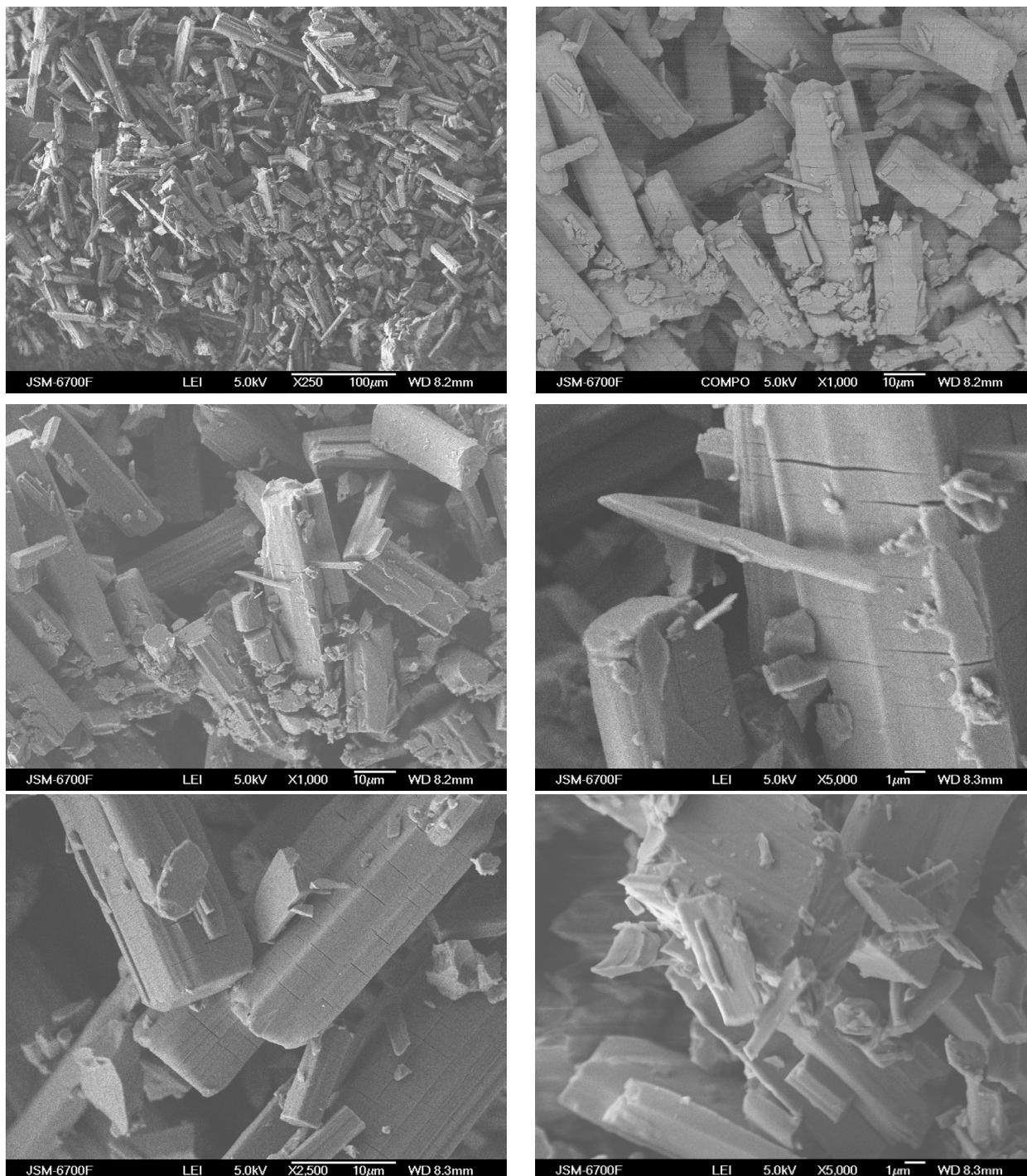


Рис. 2. Сканирующие электронные микрофотографии комплекса альфа-циклодекстринов с йодом (α -ЦД-И 5^+)

Fig. 2. Scanning electron microphotographs of the complex of alpha-cyclodextrins with iodine (α -CD-I 5^+)

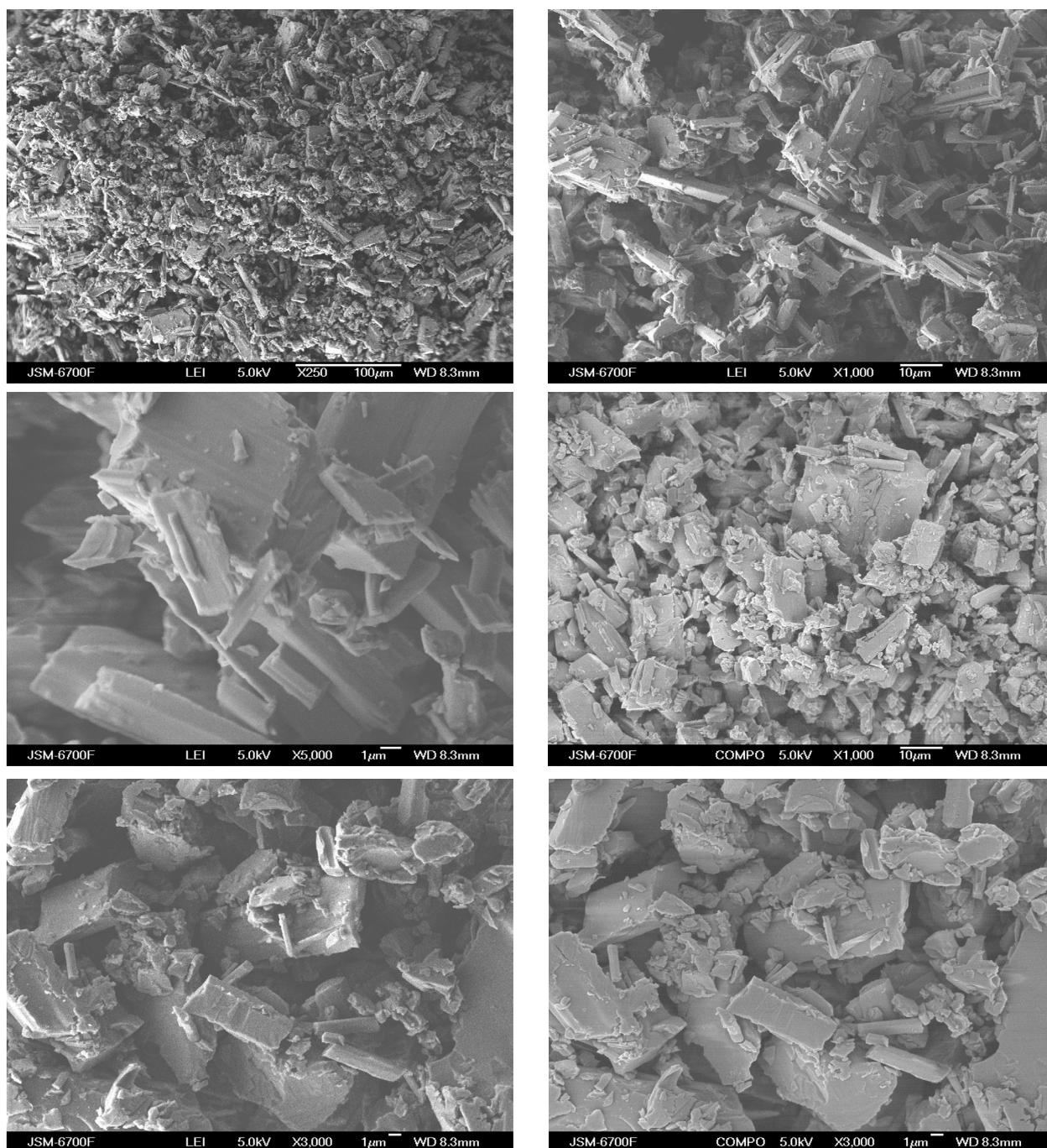


Рис. 3. Сканирующие электронные микрофотографии комплексов бета-циклодекстринов с йодом (β -ЦД-И₂)

Fig. 3. Scanning electron micrographs of complexes of beta-cyclodextrins with iodine (β -CD-I₂)

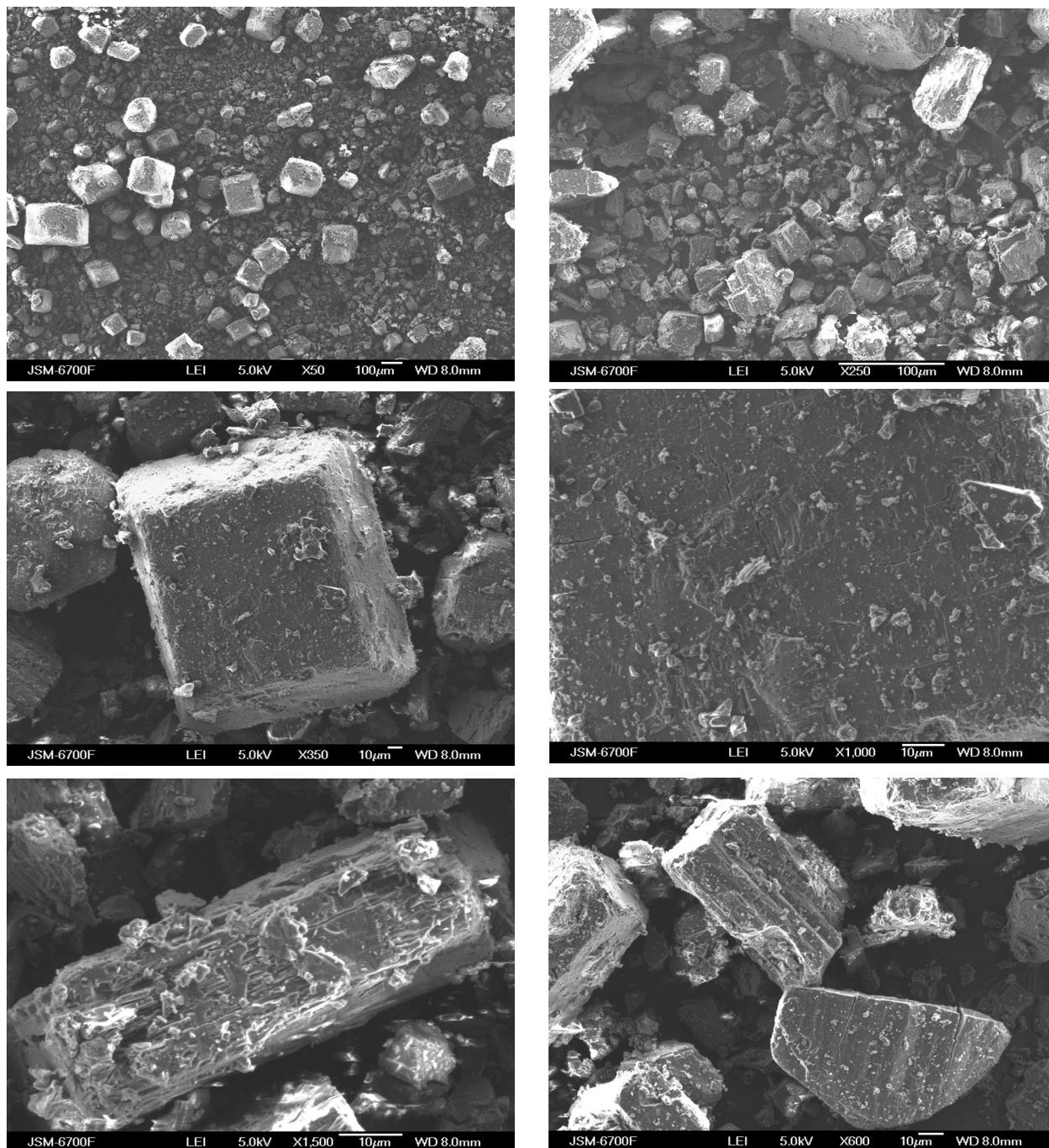


Рис. 4. Сканирующие электронные микрофотографии альфа-циклодекстрина

Fig. 4. Scanning electron micrographs of alpha-cyclodextrin

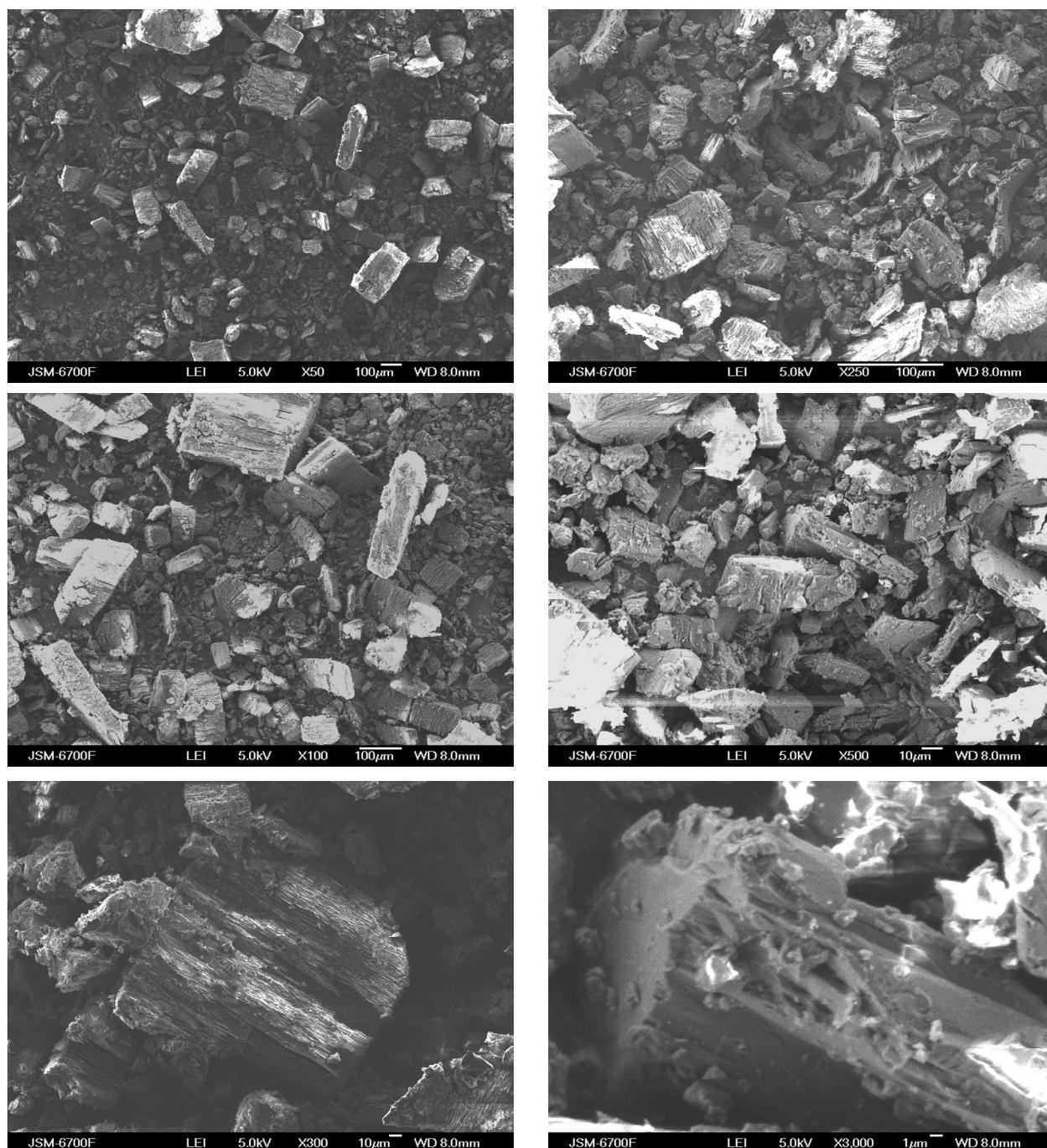


Рис. 5. Сканирующие электронные микрофотографии бета-циклодекстрина

Fig. 5. Scanning electron micrographs of beta-cyclodextrin

Так, на рис. 2 приведены сканирующие электронные микрофотографии комплексов α -ЦД с йодом (α -ЦД- I_5 -), на рис. 3 показана структура поверхности комплексов β -ЦД с йодом (β -ЦД- I_7), на рис. 4 представлена структура поверхности образцов α -ЦД, а на рис. 5 – поверхность образцов β -ЦД.

Стабильность комплекса реализуется за счет водородных связей, Ван-дер-Ваальсовых сил и электростатических взаимодействий [9], поскольку способность образовывать сильные водородные связи влияет на его растворимость. Он умеренно растворим в воде, сравнительно недорогой и способен формировать комплексы включения с йодом. По существу в данном случае мы имеем дело с молекулярным дизайном пищевых ингредиентов. В «классическом примере» стехиометрическое соотношение «гость:хозяин» составляет величину 1:1. Поэтому наиболее распространенным является комплекс, в котором молекулы ЦД и «гостя» существуют в соотношении 1:1 [10].

Такие комплексы широко применяются в пищевых технологиях для увеличения устойчивости к свету, повышенной температуры, кислороду воздуха; повышения растворимости в воде красителей и витаминов; придают товарный вид изделиям, повышают питательную ценность продуктов, обогащая их полезными веществами. Для доказательства эффективности предложенного комплекса йода с β -ЦД он был применен в качестве функциональной добавки как ингредиент вареного колбасного изделия. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что использование в рецептуре комплекса «гость–хозяин» йода с ЦД не сказывается негативно на сроках хранения вареных колбасных изделий, а степень сохранения йода во время технологической обработки составляет более 80 %. Синтезированный комплекс равномерно распределяется внутри пищевой матрицы. Сравнительный анализ образцов колбасных изделий, изготовленных по стандартной рецептуре, и образцов, полученных с внесением в состав рецептуры данной добавки, доказывает об отсутствии различий в органолептических и микробиологических показателях.

В отделе эпидемиологии эндокринных заболеваний ГУ «Институт эндокринологи и обмена вещества НАМН им. В. П. Комисаренко Украины» были проведены аналитические исследования образцов мочи волонтеров, которые употребляли вареные колбасные изделия, обогащенные синтезированным комплексом, порция (150 г) такого продукта содержала 100 мкг йода. Согласно результатам проведенных исследований всех образцов мочи, усредненный показатель йода в начале исследований составил 58,02 мкг/л, а после употребления указанного изделия на протяжении 10 дней он повысился до 110,6 мкг/л. Проведенные клинические испытания опытной партии колбас показали, что после 10-дневного их потребления достаточное йодное обеспечение было восстановлено полностью у людей с умеренным эндемическим зобом [11].

Анализируя литературные данные относительно строения комплексов, образующихся при взаимодействии ЦД с йодом, были замечены противоречия, заключающиеся в различиях элементного состава [12]. Это является существенной преградой, стоящей на пути широкого применения данных комплексов, поскольку делает невозможным быстрое и точное определение концентрации йода в них. Комплекс между β -ЦД и йодом был получен согласно известной методике [13]. Синтез состоит в смешивании концентрированных растворов β -ЦД и KI_3 , а также выпадением в осадок комплекса, который промывали раствором KI , и воды для удаления избыточного количества йода, а также сушили в вакууме на протяжении 12 ч при температуре 45 °С. Данные содержания йода в комплексах, полученные методом титрования, приведены в табл. 2. В соответствии с этими данными, йод при взаимодействии с β -ЦД образует комплекс с содержанием 1:1, а с α -ЦД – комплекс с соотношением 2:3. Полученные данные не согласуются с результатами рентгеноструктурного анализа, приведенного в литературе. Согласно этим данным, комплекс «гость–хозяин», полученный при взаимодействии β -ЦД с йодом, представляет собой полийодидный полимер, образованный из мономерной единицы, в которой одна молекула ЦД связывает 7 атомов йода с общим составом β -ЦД- I_7^- , в то время как α -ЦД образует комплекс с составом α -ЦД- I_5^- .

В табл. 2 представлены данные о содержании йода в образцах комплексов циклодекстринов с йодом.

Таблица 2

Содержание йода в образцах комплексов циклодекстринов с йодом

Table 2

The content of iodine in samples of complexes of cyclodextrins with iodine

Вид комплекса	СЭМ, %	Титрование, %
α -ЦД- I_2	18,0±0,01	15,0±0,1
β -ЦД- I_2	16,82±0,01	18,6±0,1
β -ЦД- I_2 (1 год)	15,42±0,01	16,6±0,1

Результаты анализа элементного состава комплексов циклодекстринов с йодом, проведенного методом сканирующей электронной микроскопии, сходны с результатами йодометрического титрования. Это доказывает высокую воспроизводимость методики синтеза комплексов и достаточно высокую точность метода йодометрического титрования. Незначительные различия в данных содержания йода, полученных методами СЭМ и йодометрического титрования для комплекса α -ЦД- I_2 , очевидно связаны с поглощением влаги на поверхности данного вещества, что приводит к снижению уровня йода на поверхности комплекса. Итак, результаты, полученные двумя методами, свидетельствуют о том, что полученный комплекс «гость–хозяин» (α - и β -ЦД при взаимодействии с KI_3) имеет соотношение компонентов

1:1. Было замечено, что при хранении на протяжении одного года комплекс β -ЦД с йодом теряет некоторое количество йода, которое легко точно определить с помощью йодометрического титрования. Несмотря на это комплекс остается относительно стабильным при продолжительном хранении.

Анализ структуры поверхности образцов α -ЦД, β -ЦД и комплексов α -ЦД с йодом (α -ЦД- I_3^-), проведенный при помощи метода СЭМ высокого разрешения, указывает на образование крупнокристаллических органических соединений, структура поверхности которых не характерна для полимерных соединений. Поэтому мы можем сослаться на отсутствие фрагментов I_3^- в полийодидной цепи в комплексах между α -ЦД и йодом. Аналогичные результаты получены и по комплексу β -ЦД с йодом (β -ЦД- I_3^-).

Различия между содержанием йода в комплексах ЦД- I_2 , приведенные в литературе и полученные нами, объяснить можно тем, что синтезированные кристаллы комплексов достаточно продолжительное время промывались водным раствором KI. В свою очередь, это приводит к разрушению полийодидной цепи и вымыванию в раствор неинкапсулированного во внутреннюю полость ЦД йода в виде KI_3 ($KI \cdot I_2$). Можно утверждать, что в результате синтеза образуется комплекс, в котором одна молекула ЦД связывает одну молекулу йода.

В итоге сравнительный анализ поверхности образцов комплексов ЦД с йодом указывает на образование комплексов «гость–хозяин» в соотношении 1:1.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Подтверждена воспроизводимость методики синтеза комплексов α - и β -ЦД с йодом.
2. Показано, что содержание йода в данных комплексах можно измерить с помощью йодометрического титрования, не требующего дорогостоящего оборудования, что важно при использовании данных комплексов в рецептурах пищевых продуктов, обогащенных этим микроэлементом.
3. Выявлено, что употребление вареного колбасного изделия, обогащенного разработанным комплексом в рекомендованном количестве суточной потребности йода, заметно повышает йодный статус, который проявляется по результатам йодурии в уровне тиреоидных гормонов. Результаты проведенных исследований комплекса «гость–хозяин» между β -ЦД и йодом свидетельствуют о том, что в современных экологических условиях добавка может быть перспективной для обогащения пищевых продуктов йодом.

Библиографические ссылки

1. Безопасность жизнедеятельности: пособие. В 3 ч. Ч. 2. Радиационная безопасность / В. П. Бубнов, В. Т. Пустовит. Минск, 2015.
2. Melse-Boonstra A., Jaiswal N. Iodine deficiency in pregnancy, infancy and childhood and its consequences for brain development // Best Prac. Res. Clin. Endocrinol. Metab. 2010. Vol. 24. P. 29–38.
3. Яблонская И. В., Валетов В. В. Экологическая оценка суммарного потока йода, поступающего в пищевые цепи населения Юго-востока Белорусского Полесья // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта. 2006. № 2. С. 73–76.
4. Кравченко, В. I. Медичні проблеми йододефіциту та протидія йодозалежним захворюванням // Ендокринологія. 2014. Т. 19, № 4. С. 312.
5. Маменко, М. Є., Бугаєнко О. О. Вплив порушень тиреоїдного статусу на розвиток функціональних гастроінтестинальних розладів у дітей молодшого шкільного віку // Ендокринологія. 2014. Т. 19, № 4. С. 321–322.
6. FEEDAP Panel, EFSA. Opinion of the Scientific Panel on additives and product or substances used in animal feed on the request from the Commission on the use of iodine in feedingstuffs // Europ. Food Safety Auth. J. 2005. Vol. 168. P. 163–165.
7. Tronko M., Kravchenko V., Fink D., et. al. Iodine excretion in regions of Ukraine affected by the Chernobyl accident, experience of the Ukrainian-American cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases // Thyroid. 2005. Vol. 15, № 11. P. 1291–1297.
8. Wang T., Li B., Feng Y., et. al. Preparation, quantitative analysis and bacteriostasis of solid state iodine inclusion complex with β -cyclodextrin // J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. 2011. Vol. 69. P. 255–262.
9. Song L. H., Bai L., Xu X. M., et. al. Inclusion complexation, encapsulation interaction and inclusion number in cyclodextrin chemistry // Coordinat. Chem. Rev. 2009. Vol. 253. P. 1276–1284.
10. Полумбрик М. О., Литвяк В. В., Ловкис З. В. и др. Углеводы в пищевых продуктах. Минск, 2016.
11. Полумбрик М. О., Котляр Е. О., Омельченко Х. В. и др. Применение комплекса β -циклодекстрина с йодом при производстве вареных колбасных изделий // Пищ. наука и технол. 2016. Т. 10. С. 44–48.
12. McMullan R. K., Saenger W., Fayoz J., et. al. Topography of cyclodextrin inclusion complexes : Part II. The iodine-cyclohexa-amylose tetrahydrate complex; its molecular geometry and cage-type crystal structure // Carbohydr. Res. 1973. Vol. 31. P. 211–227.
13. Faughey G. J., Sharma S. S., McCall R. D. Determining fiber fineness in flax using derivative thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy, and airflow methods // J. Appl. Polym. Sci. 2000. Vol. 75. P. 508–514.

References

1. Bubnov V. P., Pustovit V. T. [Health and safety: a Handbook: in 3 vol. 2 vol. Radiation safety officer]. Minsk, 2015 (in Russ.).
2. Melse-Boonstra A., Jaiswal N. Iodine deficiency in pregnancy, infancy and childhood and its consequences for brain development. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* 2010. Vol. 24. P. 29–38.
3. Yablonskaya I. V., Valetov V. V. [Ecological assessment of the total flow of iodine entering the food chains of the population of the Southeast of the Belorussian Polissya]. *Vesn. Mazyr. state pedagog. Univ.* 2006. No. 2. P. 73–76 (in Russ.).
4. Kravchenko V. I. [Medical problems of iodine deficiency and prevention of iodine deficiency disease]. *Endocrinology.* 2014. Vol. 19, No. 4. P. 312 (in Ukrainian).
5. Mamenko, N. Is., Bugaenko A. A. [The influence of violations of thyroid status on the development of functional gastrointestinal disorders in children of primary school age]. *Endocrinology.* 2014. Vol. 19, No. 4. P. 321–322 (in Ukrainian).
6. FEEDAP Panel, EFSA. Opinion of the Scientific Panel on additives and product or substances used in animal feed on the request from the Commission on the use of iodine in feedingstuffs. *Europ. Food Safety Auth. J.* 2005. Vol. 168. P. 163–165.
7. Tronko M., Kravchenko V., Fink D., et. al. Iodine excretion in regions of Ukraine affected by the Chernobyl accident, experience of the Ukrainian-American cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases. *Thyroid.* 2005. Vol. 15, No. 11. P. 1291–1297.
8. Wang T., Li B., Feng Y., et. al. Preparation, quantitative analysis and bacteriostasis of solid state iodine inclusion complex with β -cyclodextrin. *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.* 2011. Vol. 69. P. 255–262.
9. Song L. H., Bai L., Xu X. M., et. al. Inclusion complexation, encapsulation interaction and inclusion number in cyclodextrin chemistry. *Coordinat. Chem. Rev.* 2009. Vol. 253. P. 1276–1284.
10. Polumbrik M. O., Lityyak V. V., Lovkis Z. V., et. al. [Uglevody v pishchevykh produktakh]. Minsk, 2016. (in Russ.).
11. Polumbrik M. O., Kotlyar Ye. O., Omel'chenko Kh. V., et. al. [Primeneniye kompleksa β -tsiklodekstrina s yodom pri proizvodstve varenykh kolbasnykh izdeliy]. *Pishch. nauka i tekhnol.* 2016. T. 10. P. 44–48 (in Russ.).
12. McMullan R. K., Saenger W., Fayoz J., et. al. Topography of cyclodextrin inclusion complexes : Part II. The iodine-cyclohexa-amylose tetrahydrate complex; its molecular geometry and cage-type crystal structure. *Carbohydr. Res.* 1973. Vol. 31. P. 211–227.
13. Faughey G. J., Sharma S. S., McCall R. D. Determining fiber fineness in flax using derivative thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy, and airflow methods. *J. Appl. Polym. Sci.* 2000. Vol. 75. P. 508–514.

Статья поступила в редколлегию 28.11.2017
Received by editorial board 28.11.2017

УДК 616.053.5:616.441-006.5-036.21

ДИНАМИКА ЙОДНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТИРОИДНОЙ СИСТЕМЫ В ГРУППАХ РИСКА ПО ЙОДОДЕФИЦИТУ В СЕЛЬСКИХ РЕГИОНАХ БЕЛАРУСИ

С. В. ПЕТРЕНКО¹⁾, И. В. ДАРДЫНСКАЯ²⁾, Б. Ю. ЛЕУШЕВ¹⁾, Т. В. МОХОРТ³⁾, Н. Д. КОЛОМИЕЦ⁴⁾,
Е. В. ФЕДОРЕНКО⁵⁾, Е. Г. МОХОРТ³⁾, О. А. БАРТОШЕВИЧ⁶⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Центр Великих Озер Иллинойского Университета,
1603 В. Тейлор стрит, (МС 923), 60612-4394, Чикаго, США

³⁾Белорусский государственный медицинский университет,
пр. Независимости, 64, 220040, 1-я городская клиническая больница, Минск, Беларусь

⁴⁾Белорусская медицинская академия последипломного образования,
п. Лесной, 31, 223040, ЦНИЛ, Минский район, Беларусь

⁵⁾Республиканский научно-практический центр гигиены, ул. Академическая, 8, 220040, Минск, Беларусь

⁶⁾Ляховичская ЦРБ Брестской области,
пер. Пушкина, 7, 225372, Ляховичи, Бресткая область, Минск, Беларусь

Отмечен положительный сдвиг показателя медианы экскреции йода с мочой (йодурия) у обследованных детей: с 165,7 мкг/л – в 2015 до 233,0 мкг/л – в 2016 г. При этом распространенность зоба незначительно уменьшилась (с 7,8 до 7,3 %). У беременных женщин показатель медианы йодурии в 2016 г. возрос и составил 149,1 мкг/л (по сравнению с 2015 г.), когда его значение было 107,5 мкг/л. Встречаемость зоба за указанный период уменьшилась с 16,7 до 14,7 %.

Образец цитирования:

Петренко С. В., Дардынская И. В., Леушев Б. Ю., Мохорт Т. В., Коломиец Н. Д., Федоренко Е. В., Мохорт Е. Г., Бартошевич О. А. Динамика йодного обеспечения и показателей тиреоидной системы в группах риска по йододефициту в сельских регионах Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 63–69.

For citation:

Petrenko S. V., Dardynskaia I. V., Yurievich L. B., Mokhort T. V., Kolomietz N. D., Fedorenko E. V., Mokhort E. G., Bartoshevich O. A. Iodine supplementation and thyroid status in iodine deficient risk groups in rural regions of Belarus in 1999–2016. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 63–69 (in Russ.).

Авторы:

Сергей Владимирович Петренко – кандидат медицинских наук, доцент; ведущий научный сотрудник.

Ирина Владимировна Дардынская – профессор центра «Великие Озера» экологической и профессиональной медицины Иллинойского университета, г. Чикаго.

Борис Юрьевич Леушев – научный сотрудник; научно-исследовательский сектор.

Татьяна Вячеславовна Мохорт – доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой эндокринологии.

Наталья Дмитриевна Коломиец – доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой эпидемиологии и микробиологии.

Екатерина Валерьевна Федоренко – кандидат медицинских наук, доцент; заместитель директора.

Елена Геннадьевна Мохорт – кандидат медицинских наук, доцент; заместитель заведующего кафедрой эндокринологии.

Ольга Анатольевна Бартошевич – врач-эндокринолог.

Authors:

Sergey V. Petrenko, PhD (medical), associate professor, leading researcher.

petrenko51@yahoo.com

Irina V. Dardynskaia, professor of the Great Lakes Center for occupational and environmental safety and health of the University of Illinois, Chicago.

dardynsk@uic.edu

Boris Y. Leushev, researcher; research sector.

leushev@mail.ru

Tatiana V. Mokhort, doctor of science (medical), professor; head of the department of endocrinology.

endokrin@bsmu.by

Natalia D. Kolomietz, doctor of science (medical), professor; head of the department of epidemiology and microbiology.

info@belmapo.by

Ekaterina V. Fedorenko, PhD (medical), associate professor; deputy director.

rspch@rspch.by

Elena G. Mokhort, PhD (medical), associate professor; head of the department of endocrinology.

endokrin@bsmu.by

Olga A. Bartoshevich, endocrinologist.

medic@brest.by

Полученные результаты указывают на то, что модель ликвидации йодного дефицита, используемая в Беларуси, оказалась эффективной практически во всех группах риска, за исключением беременных из сельских регионов.

Ключевые слова: медиана; экскреция йода с мочой; беременные женщины; дети; сельские районы.

Благодарность. За поддержку научных исследований авторы выражают благодарность следующим организациям: Представительству Белорусского Детского Фонда ООН (UNICEF); Представителям Международной Организации «Глобальная Сеть по Йоду» (IGN); Министерству образования Республики Беларусь.

IODINE SUPPLEMENTATION AND THYROID STATUS IN IODINE DEFICIENT RISK GROUPS IN RURAL REGIONS OF BELARUS IN 1999–2016

S. V. PETRENKO^a, I. V. DARDYNSKAIA^b, L. B. YURIEVICH^a, T. V. MOKHORT^c, N. D. KOLOMIETZ^d,
E. V. FEDORENKO^e, E. G. MOKHORT^c, O. A. BARTOSHEVICH^f

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

^bWorld Health Center «Great Lakes», Taylor street, (MC 923), 1603 W, 60612, Chicago, USA

^cBelarusian State Medical University, Nazavisimosti avenue, 64, 220040, 1-st Clinical Hospital, Minsk, Belarus

^dBelarusian Medical Academy of Post-graduate Training, Lesnoj, 31, 223040, Minsk region, Belarus

^eNational Research and Practical Center for Hygiene, Akademicheskaya street, 8, 220040, Minsk, Belarus

^fLiakhovichi Central Regional Hospital, Pushkin lane, 7, 225372, Liakhovichi, Brest region, Belarus

Corresponding author: petrenko51@yahoo.com

The stable indexes of iodine supplementation and thyroid status was found in schoolchildren and pregnant women from rural iodine deficient areas of Belarus in 1999–2016.

Median urinary iodine excretion level increased from 165,7 µg/l in 2015 to 233,0 µg/l in 2016 in children. In pregnant women also, there was found the increasing of median excretion of iodine from 107,5 µg/l in 2015 to 149,1 µg/l for that period of time. The figures of goiter rate in children were also increased from 7,8 to 7,3 per cent and from 16,7 to 14,7 per cent in pregnant women. The data evidence that Belorussian model of iodine deficiency elimination occurred to be effective almost in all risk groups except pregnant women from rural area.

Key words: median of iodine excretion; goiter; children; pregnant women; rural area.

Acknowledgements. The authors would like to express special thanks of gratitude to the following organizations for their support of the study: UNICEF in Belarus; Iodine Global Network (IGN); Ministry of Education Republic of Belarus.

Введение

Беларусь, территория которой характеризуется геохимическими особенностями почвы, продолжает оставаться йододефицитным регионом. Произведенная в стране сельскохозяйственная продукция, имеет недостаточное содержание йода, необходимое для нормального развития организма, поэтому регулярное употребление населением йодированной соли и обогащенных йодом продуктов питания является необходимым компонентом пищевого рациона. В Беларуси разработана и внедрена с 2000 г. уникальная стратегия ликвидации йодного дефицита, основанная на использовании йодированной соли и фортификации продуктов питания [1]. Отличие Белорусской национальной стратегии ликвидации йодного дефицита – это развитие от «обратного»: адекватная йодная обеспеченность достигнута в условиях отсутствия закона о всеобщем йодировании соли, что является рекомендованной и общепринятой стратегией, базирующейся на принятии постановления Главного санитарного врача № 11 от 21.03.2000 г. «О проведении профилактики йододефицитных заболеваний» и Постановления Совета Министров № 484 от 6.04.2001 г. «О предупреждении заболеваний, связанных с дефицитом йода» [2]. Положения указанных документов определяли изменение стандарта по содержанию йода в соли (40±15 мг/кг соли), обязывали производителей использовать йодат калия вместо калия йодида, внесли изменения в технические нормативно-правовые акты на производство пищевых продуктов с обязательным применением йодированной соли и обязательным использованием йодированной соли при приготовлении пищи в общественном питании всех типов. В настоящее время йодированная соль используется при производстве большинства пищевых продуктов (за исключением сыров и сырных продуктов, продуктов переработки океанических рыб и морепродуктов). Таким образом, в Республике Беларусь

решение поставленной задачи о ликвидации йодного дефицита обеспечено в результате внедрения подзаконных актов и последующим принятием Закона № 217-3 от 29.06.2003 г. «О качестве и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека», что способствовало достижению уровня адекватного потребления йода с продуктами питания [3].

Достаточное йодное обеспечение населения страны является одним из важнейших аспектов профилактических мероприятий, направленных на снижение заболеваемости щитовидной железой, вызванной такими экологическими факторами, как природный дефицит йода в почвах и водах республики, а также антропогенным воздействием.

Беспрецедентный рост заболеваемости щитовидной железой в Беларуси был установлен через пять лет после аварии на Чернобыльской атомной станции, приведшей к массивным выбросам радиоактивных изотопов йода. Йодная профилактика, проводившаяся в стране в предыдущие годы, была остановлена в 1970–1980 гг. Это привело к значительному снижению йодного обеспечения населения, поскольку других источников поступления йода в организм в то время практически не было. Чернобыльский радиоактивный йод активно депонировался в щитовидной железе, вызывая ее внутреннее облучение, что привело к росту узловой патологии, включая рак щитовидной железы [4]. Проведенные исследования подтвердили наличие выраженного йодного дефицита у населения страны, который явился одной из первостепенных причин роста патологии щитовидной железы у жителей, пострадавших от аварии на ЧАЭС [5; 6].

Разработка таких новых диагностических методов, как ультразвуковая морфометрия щитовидной железы и высокочувствительные методы определения йода в организме, явилась научным базисом для разработки системы медицинского мониторинга йодного обеспечения населения, который при поддержке ВОЗ/ЮНИСЕФ проводится в Беларуси с 1997 г. [7]. В течение всего периода наблюдения в выборочных ограниченных категориях населения проводятся исследования по комплексной оценке экскреции йода с мочой, а также группы доли обследуемых, потребляющих йодированную соль, и пациентов с увеличением размеров щитовидной железы. Все исследования по определению уровня экскреции йода в моче проводились при помощи спектрофотометрического церий-арсенитного метода, принятого ВОЗ в качестве стандартного международного метода в лаборатории успешно аттестованной и включенной в систему по внешнему контролю качества для стран ЦВЕ/СНГ и [3]. Начиная с 2001 г. полученные результаты исследований свидетельствовали об отсутствии йодного дефицита, медиана йодурии во всех проведенных исследованиях составляла более 100 мкг/л. Динамика данных по оценке экскреции йода с мочой (в мкг/л), по результатам выборочных исследований в Беларуси с 2001 по 2016 г., представлена на рис. 1.

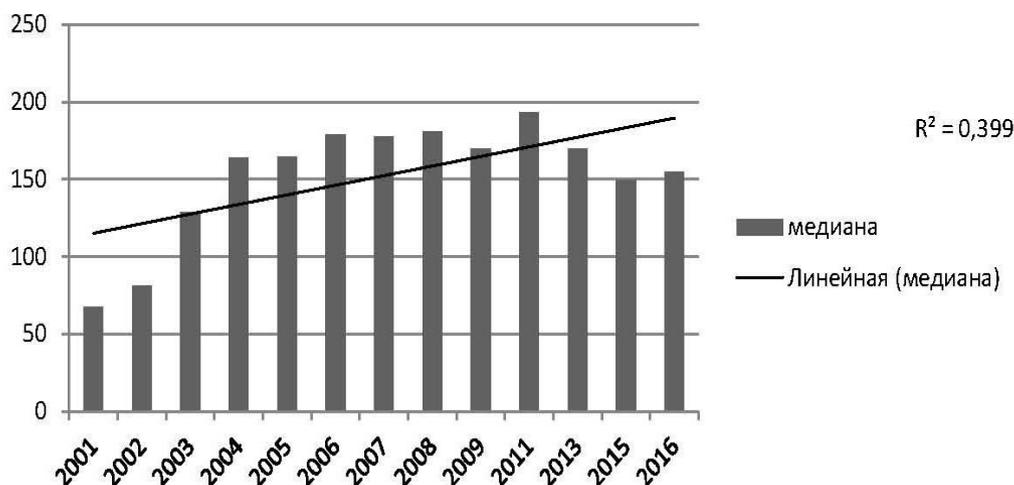


Рис. 1. Мониторинг экскреции йода с мочой (мкг/л) в репрезентативных группах детей и подростков Беларуси (2001–2016 гг.)

Fig. 1. Urinary iodine excretion (µg/L) in representative groups in Belarus (2001–2016)

К сожалению, приведенные результаты исследований включают как общенациональные исследования, так и ограниченные исследования малых выборок групп детей и беременных женщин.

Следующая группа критериев эффективности программы борьбы с дефицитом йода в продуктах питания включает оценку показателей, характеризующих производство йодированной соли, долю йодированной соли на рынке, качество йодированной соли и стоимость йодированной и нейодированной соли. В Республике Беларусь высококачественную йодированную соль, при отсутствии значимых различий в цене с нейодированной солью, производят комбинаты в городах Мозыре и Солигорске, которые полностью покрывают потребность соли в стране и обеспечивают ее экспорт в другие государства. Доля продаж йодированной соли на внутреннем рынке Беларуси увеличилась с 31,5 % в 2001 г. до 74 % в 2008 г. и сохраняется на этом уровне с незначительными колебаниями в различных областях (81,5 % – по итогам 2016 г.).

Улучшенное качество йодированной соли, обусловленное заменой йодида калия на йодат калия и изменением его концентрации в соли с 25+15 мг/кг до 40+15 мг/кг при йодировании соли, сохраняется на уровне стандартов с 2005 г., когда количество нестандартных образцов составило 0,5 %, а в последующем доля нестандартных образцов снизилась до 0 в 2013 г., 0,04 % в 2014 г. и 0,05 % в 2016 г.

С позиций оценки влияния адекватного потребления йода с продуктами питания, что является особенностью национальной стратегии ликвидации йодного дефицита, представляет интерес динамика заболеваемости, вызванная некоторыми отклонениями в функционировании щитовидной железы, которые традиционно рассматриваются как «йоддефицитные» [9]. Одним из наиболее достоверно оцениваемых показателей из множества заболеваний щитовидной железы является простой нетоксический зоб в общей популяции и у детей до 18 лет. Первичная заболеваемость простым нетоксическим зобом снизилась с 325,0 на 100 тыс. населения в 2000 г. до 59,9 на 100 тыс. населения в 2016 г.

Цель исследования – контроль за динамикой показателей йодного обеспечения и состоянием показателей тиреоидной системы в 1999–2016 гг. в группах повышенного риска: у детей и беременных, проживающих в сельском регионе Беларуси (Брестская обл.).

Материалы и методы исследования

Всего за 1999–2016 гг. обследовано 70 беременных женщин в возрасте от 23 до 32 лет и 201 школьник в возрасте от 8 до 14 лет, проживающих в д. Кривошин Ляховического р-на (Брестская обл.). Статистическая обработка проводилась методом непараметрической статистики с расчетом медианы вариационных рядов. Степень обеспеченности йодом организма устанавливалась по содержанию йода в утренней порции мочи, который определялся спектрофотометрическим церий-арсенитным методом, рекомендованным ВОЗ [8]. 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.

Обследовано 30 беременных женщин в 2015 г. и 40 беременных – в 2016 г. в возрасте от 23 до 32 лет, 106 детей в 1999 г., 51 ребенок в 2015 г. и 44 ребенка в 2016 г. в возрасте от 8 до 14 лет, проживающих в Ляховическом р-не (Брестская обл.). Статистическая обработка проводилась методом непараметрической статистики с расчетом медианы вариационных рядов.

В сельском регионе в 1999 г. в группе детей медиана йодурии была 16,9 мкг/л, а в 2015 г. 165,7,0 мкг/л, а у беременных женщин 107,5 мкг/л. Йодированную соль в 1999 г. употребляли 14,6 %, а в 2015 г. 86,2 % семей школьников и только – 66,7 % беременных женщин. В 2016 г. значение медианы йодурии у детей из этого же региона выросло и составило 233,0 мкг/л, а у беременных женщин медиана йодурии – 152,4 мкг/л. Йодированную соль в 2016 г. употребляет 89,4 % школьников и 78,8 % беременных женщин. Распространенность зоба у детей значительно снизилась с 34,4 % в 1999 до 7,8 % в 2015 г., а у беременных уменьшилась – с 16,7 % в 2006 г. до 14,7 % – в 2016 г. Полученные результаты приведены на рис. 2, 3.

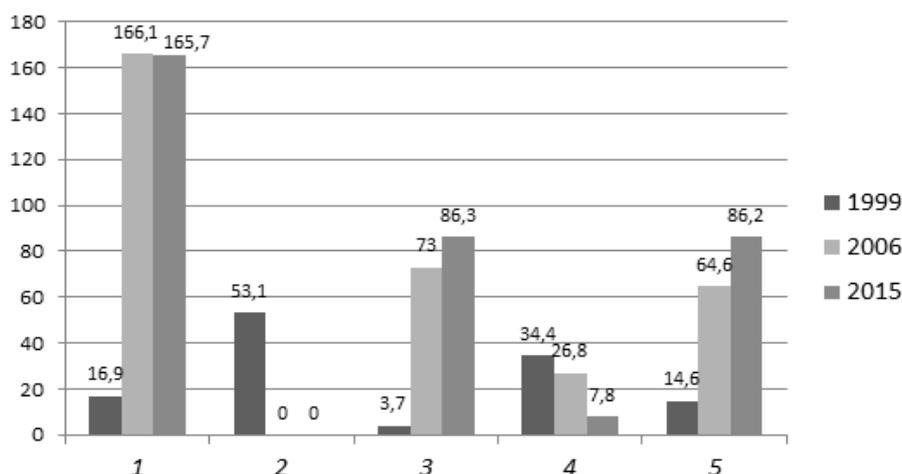


Рис. 2. Медиана экскреции йода с мочой (мкг/л), количество лиц с экскрецией йода менее 20 мкг/л и более 100 мкг/л (в %), частота простого зоба (в %) и частота употребления йодированной соли (в %) у школьников д. Кривошин (Брестская обл.) в 1999–2015 гг.

Обозначения: 1) медиана йодурии (в мкг/л); 2) йодурия менее 20 мкг/л (в %); 3) йодурия более 100 мкг/л (в %); 4) частота зоба (в %); 5) употребление йодированной соли (в %)

Fig. 2. Median of urinary iodine excretion (µg/L, bars No. 1), per cent of persons with iodine excretion figures less than 20 µg/L (bars No. 2), per cent of persons with iodine excretion figures more than 20 µg/L (bars No. 3), goiter prevalence (in per cent, bars No. 4) and amount of household using the iodized salt (in per cent, bars No. 5) school-children from v. Krivoshin (Brest region)

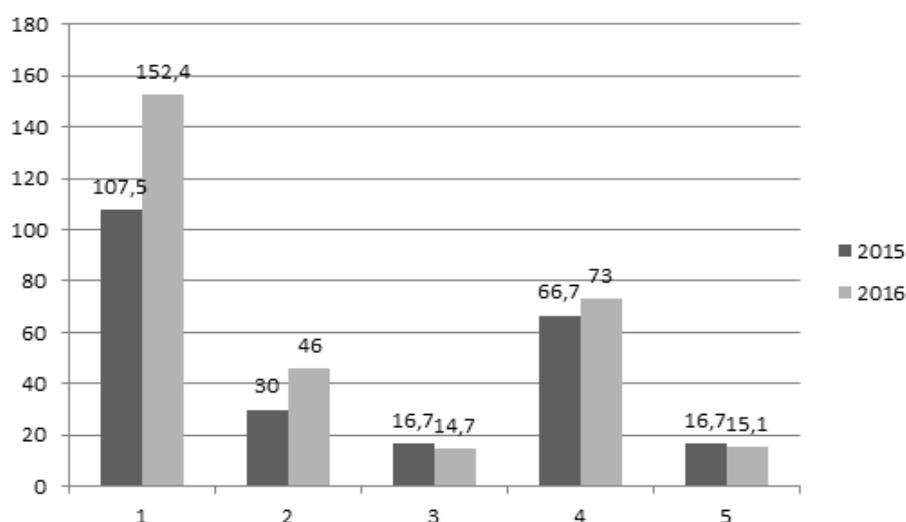


Рис. 3. Медиана экскреции йода с мочой (мкг/л), количество лиц с экскрецией йода более 150 мкг/л (в %), частота простого зоба (в %), частота употребления йодированной соли (в %) у беременных женщин из д. Кривошин и г. Ляховичи (Брестская обл.) 2015 г. (N=30) и 2016 г. (N=37)

Обозначения: 1) медиана йодурии; 2) йодурия более 150 мкг/л (в %); 3) частота зоба (в %); 4) употребление йодированной соли (в %); 5) медиана объема щитовидной железы (в мл)

Fig. 3. Median of urinary iodine excretion (µg/L, bars No. 1), per cent of persons with iodine excretion figures more than 150 µg/L (bars No. 2), goiter prevalence (in per cent, bars No. 3), amount of household using the iodized salt (in per cent, bars No. 4) by pregnant women and thyroid volume in pregnant women (in cm, bars No. 5) from v. Krivoshin and town Laichovichi (Brest region)

Динамика совокупных изменений распространенности зоба у детей и подростков (на 100 тыс. детского населения), усредненной медианы экскреции йода (в мкг/л) и потребления йодированной соли в обследованных семьях у детей и подростков (в %) представлены на рис. 4.

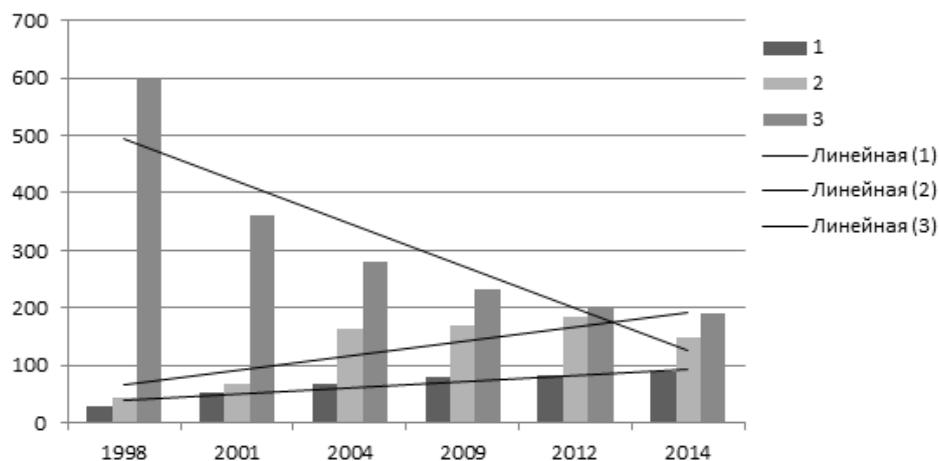


Рис. 4. Медиана распространенности зоба (на 100 тыс.), медиана экскреции йода (мкг/л) и потребление йодированной соли (%) у детей и подростков Беларуси в 1998–2014

Обозначения: 1) потребление йодированной соли (%); 2) медиана экскреции йода (мкг/л); 3) распространенность зоба (на 100 тыс. детского населения).

Fig. 4. Goiter prevalence (in per cent, on 100 000 population, bars No. 1), median of urinary iodine excretion (µg/L, bars No. 2) and amount of household using the iodized salt (in per cent, bars No. 3) in school-children of Belarus

Для понимания доказательности достигнутого результата был проведен анализ оценки количества потребляемого йода при использовании готовых продуктов питания, изготовленных с использованием йодированной соли. Результаты расчетной оценки потребления йода с основными пищевыми продуктами, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что «среднестандартный» рацион питания обеспечивает использование 222 мкг йода в сутки.

Таблица 1

Результаты расчетной оценки потребления йода с основными пищевыми продуктами

Table 1

Calculated results of the iodine supplementation with main types of food

Группа продуктов	Суточное потребление г/сутки	Содержание йода в мкг/сутки
Хлебопродукты	162,7	64
Колбасные продукты	50,0	64,1
Молочные продукты	280,0	54,1
Овощи	430,5	17,2
Крупы и макаронные изделия	162,7	10,2
Мясо всех видов	112,9	7,5
Картофель	98,3	4,9
Итого		222,0

На основании расчетов потребления йодированной соли и продуктов питания был сделан вывод, что использование в составе рациона 10 % пищевых продуктов, обогащенных йодом в промышленных условиях (даже без учета использования йодированной соли для досаливания пищи), позволяет обеспечить физиологическую потребность (150 мкг в сутки) в указанном микроэлементе для взрослых.

Однако, как показало наше исследование, в некоторых сельских регионах Беларуси питание беременной женщины не содержит необходимого количества йода, поскольку преобладают в пищевом рационе продукты со своего подворья, кроме того, определенные категории беременных не принимают рекомендованные йодные препараты.

Заключение

Таким образом, белорусская модель ликвидации йодного дефицита, основанная на облигатном использовании йодированной соли в промышленном производстве продуктов питания, показала свою многолетнюю эффективность у населения, а также и в одной из групп риска по развитию йододефицита – у детей школьного возраста.

Установлена необходимость дополнительного использования препаратов йода беременными женщинами в сельских регионах, обусловленная, по-видимому, преобладанием в их рационе продуктов питания со своего подворья, а не промышленного производства.

Следует активизировать пропагандистскую работу о пользе йодированной соли, особенно среди беременных женщин из сельских регионов.

Библиографические ссылки

1. Качан В. И., Мохорт Т. В., Коломиец Н. Д. и др. Стратегия ликвидации йодного дефицита в Беларуси: Оценка десятилетнего опыта // Клиническая и экспериментальная тиреодология. 2010. Т. 6, № 3. С. 30–34.
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 484 от 6 апреля 2001 года «О предупреждении заболеваний, связанных с дефицитом йода». Минск, 2001.
3. Мохорт Т. В., Коломиец Н. Д., Петренко С. В. и др. Проблема йодной обеспеченности в Республике Беларусь: результаты внедрения стратегии ликвидации йодного дефицита // Международный эндокринологический журнал. 2016. № 1 (73). С. 11–18.
4. Kazakov V. S., Demidchik E. P., Astakhova L. N. Thyroid cancer after Chernobyl // Nature. 1992. Vol. 359. P. 21–23.
5. Герасимов Г. А., Гутекунст Р. Эндемический зоб и йодная обеспеченность в Гомельской области: тез. докл. 3-ей Респ. науч.-практ. конф. врачей. Минск, 1992. Ч. 2. С. 137.
6. Gembicki M., Stozharov A. N., Arinchin A. N., et al. Iodine deficiency in Belarus children as a possible factor stimulating the irradiation of the thyroid gland during the Chernobyl catastrophe // Environmental Health Perspectives. 1997. Vol. 105, issue 6. P. 1487–1490.
7. Arinchin A., Gembicki M., Moschik K., et al. Goiter Prevalence and Urinary Iodine Excretion in Belarus Children Born after the Chernobyl Accident // IDD News Letter. 2000. Vol. 16, № 1. P. 7–9.
8. Данн Й., Ф. ван дер Хаар. Практическое руководство по устранению йодной недостаточности: Техническое пособие № 3. ICCIDD, UNICEF, WHO. 1994. 59 с.
9. American Thyroid Association (ATA) Issues Statement on the Potential Risks of Excess Iodine Ingestion and Exposure. Jun 5, 2013.

References

1. Kachan V. I., Mokhort T. V., Kolomietz N. D., et al. [Strategy of iodine deficiency elimination in Belarus: Estimation of ten-years experience]. *Clinicheskaja i eksperimentalnaja tireodologija (RF)*. 2010. 6. No. 3. P. 30–34 (in Russ.).
2. [Resolution, Council of Ministers, Republic of Belarus # 484 of April 6, 2001 «On prevention of diseases related to iodine deficiency»]. Minsk, 2001 (in Russ.).
3. Mokhort T. V., Kolomietz N. D., Petrenko S. V., et al. [Issue of iodine supplementation in Belarus Republic: Results of implementation of the iodine deficiency elimination strategy]. *Mezhdunarodnyi endocrinologicheskii zhurnal*. 2016. No. 1 (73). P. 11–18 (in Russ.).
4. Kazakov V. S., Demidchik E. P., Astakhova L. N. Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature*. 1992. Vol. 359. P. 21–23.
5. Gerasimov G. A., Gutekunst R. [Endemic goiter and iodine supplementation in Gomel region] : materialy 3-y Respubl. nauch.-pract. konf. vrachei. Minsk, 1992. Ch. 2. P. 137 (in Russ.).
6. Gembicki M., Stozharov A. N., Arinchin A. N., et al. Iodine deficiency in Belarus children as a possible factor stimulating the irradiation of the thyroid gland during the Chernobyl catastrophe. *Environmental Health Perspectives*. 1997. Vol. 105, issue 6. P. 1487–1490 (in Russ.).
7. Arinchin A., Gembicki M., Moschik K., et al. Goiter Prevalence and Urinary Iodine Excretion in Belarus Children Born after the Chernobyl Accident. *IDD News Letter*. 2000. Vol. 16, No. 1. P. 7–9.
8. Dunn J. F. van der Haar. [Practical guide for iodine deficiency elimination. Manual No. 3]: ICCIDD, UNICEF, WHO. 1994 (in Russ.).
9. American Thyroid Association (ATA) Issues Statement on the Potential Risks of Excess Iodine Ingestion and Exposure. Jun 5, 2013.

Статья поступила в редколлегию 28.11.2017
Received by editorial board 28.11.2017

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 504.064.36:550.53(476)

КАДМИЙ, ЦИНК И СВИНЕЦ В ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. Е. ГОЛОВАТЫЙ¹⁾, С. В. САВЧЕНКО²⁾, Е. А. САМУСИК¹⁾

*¹⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь*

*²⁾Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
ул. Скорины, 10, 220114, Минск, Беларусь*

Оценка содержания валовых и подвижных форм кадмия, свинца и цинка в почвенном покрове на территории промышленных предприятий показала загрязнение почв этими элементами. Наиболее высокий уровень загрязнения почв цинком отмечен в зоне воздействия предприятия машиностроительного комплекса, где средняя концентрация металла превысила норматив для валового содержания в 7,5, а для подвижных форм – в 1,6 раза. Повышенное содержание в почвах валового кадмия отмечено на промплощадках в зоне воздействия предприятий по производству цемента и машиностроительного производства. Загрязнение почв подвижным свинцом характерно для предприятий, специализирующихся на литейном и цементном производстве, где среднее содержание элемента выше допустимого уровня в 4,1 и 1,7 раза соответственно.

Образец цитирования:

Головатый С. Е., Савченко С. В., Самусик Е. А. Кадмий, цинк и свинец в почвах в зоне воздействия промышленных предприятий // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 70–80.

For citation:

Golovaty S. E., Savchenko S. V., Samusik E. A. Cadmium, zinc and lead in soils in the zone of influence of the industrial enterprises. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 70–80 (in Russ.).

Авторы:

Сергей Ефимович Головатый – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента.

Светлана Валентиновна Савченко – кандидат геолого-минералогических наук; ведущий научный сотрудник Института природопользования.

Елена Андреевна Самусик – аспирант кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

Authors:

Sergey E. Golovaty, doctor of science (agriculture), professor; head of the department of environmental monitoring and management. sscience@yandex.ru

Svetlana V. Savchenko, PhD (geology and mineralogy); leading researcher of Institute of environmental management. svscience@rambler.ru

Elena A. Samusik, graduate student of the department of environmental monitoring and management. e.samusik@mail.ru

Ключевые слова: валовые и подвижные формы тяжелых металлов; загрязнение почв; элементы-загрязнители; промышленное предприятие; предельно допустимая концентрация.

CADMIUM, ZINC AND LEAD IN SOILS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

S. E. GOLOVATYI^a, S. V. SAVCHENKO^b, E. A. SAMUSIK^b

^a*Belarusian State University, International Sakharov Environmental Institute
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus*

^b*Institute of environmental management of National Academy of Sciences of Belarus,
Skorina street, 10, 220114, Minsk, Belarus*

Corresponding author: : sscience@yandex.ru

Assessment of the total and mobile forms of cadmium, lead and zinc in a soil cover in the territory of the industrial enterprises has shown pollution of soils these elements. The highest level pollution of soils zinc is noted in a zone of influence of the enterprise of a machine-building com-plex where average concentration of metal has exceeded the standard for the total contents by 7,5 times, for mobile forms – by 1,6 times. The increased contents in soils of the total cadmium is not-ed at industrial sites in a zone of influence of the enterprises for production of cement and ma-chine-building production. Pollution of soils mobile lead is characteristic of the enterprises specializing in foundry and cement production where the average content of an element is higher than admissible level in 4,1 and 1,7 times respectively.

Key words: total and mobile forms of heavy metals; pollution of soils; elements pollutants; industrial enter-prise; threshold limit value.

Введение

Отличительным признаком загрязнения почв в зоне воздействия промышленных объектов является накопление в них многокомпонентной смеси химических веществ различной природы, среди которых ведущее место занимают тяжелые металлы. Наиболее значительное техногенное воздействие от их поступления испытывают почвы промплощадок предприятий, где расположено значительное количество различных источников загрязнения.

Тяжелые металлы, присутствующие в сырье или отходах производства, участвуют в водной и воздушной миграции и могут являться источником химического загрязнения почв преимущественно близлежащих территорий, формируя локальные участки загрязнения земель. Элементы, содержащиеся в промышленных выбросах, распространяются на значительные расстояния, формируя педогеохимические аномалии, удаленные от непосредственного источника загрязнения, что затрудняет его идентификацию. При этом особенности технологических процессов, выпускаемая на предприятии продукция и используемое при этом сырье напрямую связаны с интенсивностью накопления свинца, кадмия и цинка в почвах промплощадок и санитарно-защитных зон промышленных объектов.

Традиционно в практике оценки химического загрязнения земель используется определение в почвах валовых концентраций тяжелых металлов. Однако валовое содержание отражает общую картину накопления в землях элементов или их соединений и не всегда свидетельствует об опасности химического загрязнения почв, так как при этом не учитывается миграционная активность поллютантов и возможность их поступления в другие компоненты природной среды. Более информативным, с точки зрения экологических позиций, является анализ содержания подвижных форм металлов, дающий возможность оценить степень опасности избыточной концентрации элементов в почвах для экосистем и их отдельных компонентов.

Материалы и методы исследования

Изучение содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов проводили на территориях трех промышленных предприятий и в зоне их воздействия – предприятия по производству цемента, производству машин и комплектующих, а также по производству литейной продукции. Обследование почвенного покрова велось на свободных от застройки участках по всей территории промплощадки предприятия. При обосновании точек отбора проб почв учитывалась площадь свободной от застройки территории, ее функциональное использование, местоположение по отношению к источникам загрязнения, возможные пути миграции химических веществ и предполагаемые участки их аккумуляции.

Почвенные образцы отбирали тростевым буром на глубине 0–5 см и 5–20 см. Всего отобрано 58 проб, из них 9 – в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) промышленных объектов. На участках исследования производился отбор объединенной почвенной пробы, которая формировалась с точечных проб почв. Точечные пробы отбирались методом «конверта» на участке не менее 5x5 м. При ограниченности площади или линейной конфигурации исследуемого участка отбор объединенной почвенной пробы производился по диагонали или другим способом методом отбора точечных проб, расположенных на расстоянии 2–3 м друг от друга [1].

Процедура извлечения валовых форм тяжелых металлов из почвенных образцов проводилась методом химического экстрагирования сильными кислотами ($\text{HF} + \text{HClO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HCl}$) [2].

Подвижные формы изучаемых элементов определяли из вытяжки ацетатно-аммонийного буфера (ААБ, рН 4,8). Концентрацию элементов в экстрагентах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 [2].

Обменную кислотность почвенного раствора определяли потенциометрически, в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26483-85).

Результаты исследования и их обсуждение

Современный почвенный покров в пределах территорий промышленных предприятий представлен преимущественно антропогенно-преобразованными почвами, в основе которых лежат перемешанные или насыпные грунты с высокой долей золы, бытового мусора, строительных отходов, образовавшиеся вследствие нивелировки рельефа и строительно-земляных работ. Для большинства участков характерны почвы, имеющие обогащенный органическим веществом верхний горизонт, образованный в результате естественных почвообразовательных процессов или, в большинстве случаев, привнесением органоминеральных смесей. Присутствуют также территории, где распространены грунты без признаков генетических горизонтов с постоянной механической трансформацией приповерхностного слоя.

Предприятие по производству цемента. Основным сырьем предприятия по производству цемента выступает мергель, лессовидные супеси, песок и различные виды добавок. По данным [2], основное количество кадмия, свинца и цинка при производстве цемента может поступать в производственный процесс с пиритными огарками ($\text{Zn} - 84,6-91,0 \%$, $\text{Cd} - 55,5-67,0 \%$, $\text{Pb} - 87,6-89,6 \%$) и основным сырьем (глиной, мелом) ($\text{Zn} - 8,8-15,0 \%$, $\text{Cd} - 28,3-44,0 \%$, $\text{Pb} - 10,2-12,2 \%$). Результаты этих же исследований указывают на высокие концентрации данных элементов в пыли, образующейся при производстве цемента. Так, содержание кадмия может варьировать от 0,21 до 219,1 мг/кг, свинца – 642–3728,9, цинка – от 160 до 690,5 мг/кг.

Расчеты удельных выбросов тяжелых металлов, проведенные в [3], показали, что при производстве цемента кадмий, свинец и цинк, наряду с медью и ртутью, являются основными элементами-загрязнителями окружающей среды, в том числе и почвенного покрова. Удельные выбросы на различных стадиях производственного процесса и при различных системах очистки составляют для кадмия – от 0,005 до 0,16 г/т, свинца – 0,62 до 8,7, цинка – от 1,16 до 17,7 г/т.

Исследования, проведенные нами на территории предприятия, показали, что кислотность почв приповерхностного горизонта составляла в среднем $\text{pH}_{\text{KCl}} 8,30$ с разбросом значений от $\text{pH}_{\text{KCl}} 8,00$ до $\text{pH}_{\text{KCl}} 8,62$. Это позволило характеризовать реакцию почвенной среды на территории промплощадки как слабощелочную. Аналогичное подщелачивание почв характерно в целом для городских территорий, что обусловлено наличием на них различных стационарных и мобильных источников загрязнения [4].

В горизонте 5–20 см кислотность почв повышалась и на отдельных участках была на уровне $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,45$, что более характерно для естественных почв. В частности, на территории Березинского биосферного заповедника встречаются преимущественно сильнокислые почвы с $\text{pH}_{\text{KCl}} 2,8-3,8$ [5]. Это же подтверждают исследования [6], согласно которым почвы сосняков имеют $\text{pH}_{\text{KCl}} 3,3$, березняков – $\text{pH}_{\text{KCl}} 3,5$.

Содержание гумуса в слое почв 0–5 см на промплощадке предприятия высокое и в среднем составило 3,10 %, с разбросом значений от 0,73 % до 7,6 %, что позволяет предположить наличие на большей части территории привнесенных органоминеральных смесей. В слое 5–20 см содержание гумуса снижается и в среднем не превышает 2,7 %.

Исследования валового содержания тяжелых металлов в почвах промплощадки предприятия по производству цемента показали, что средние концентрации всех изученных металлов в приповерхностном горизонте почв превышали фоновый уровень: кадмия – в 3,5 раза, цинка – 12,0, свинца – в 4,9 раза (табл. 1). Максимальные концентрации элементов превышали фон от 9,2 для кадмия до 34,5 раза для цинка.

Таблица 1

Основные статистические параметры валового содержания тяжелых металлов в почвах промплощадки в зоне воздействия цементного производства

Table 1

The main statistical parameters of the general content of heavy metals in soils of an industrial site in a zone of impact of cement production

Показатель	Cd	Zn	Pb
Глубина отбора 0–5 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	<u>0,1–2,4*</u> 0,9	<u>21,1–424,0</u> 147,2	<u>9,0–65,3</u> 26,7
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	66,6	80,0	13,3
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	4,8	7,7	1,6
Глубина отбора 5–20 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	<u>0,1–0,9</u> 0,4	<u>13,1–139,4</u> 48,0	<u>7,6–25,3</u> 13,1
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	20,0	26,7	0
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	1,8	2,5	0,6
Фоновое содержание [7]	0,26	12,3	5,4
ПДК (ОДК)	0,50 [8]	55,0 [8]	40,0 [9]

* над чертой – минимальное и максимальное содержание, под чертой – среднее содержание

Сравнение полученных данных с санитарно-гигиеническими нормативами свидетельствует, что среднее содержание цинка и кадмия в слое 0–5 см почв превышали допустимый уровень в 2,7 и 1,8 раза соответственно. По сравнению с гигиеническими нормативами в 80,0 % случаев почвы загрязнены цинком с наибольшим значением (7,7 ОДК), 66,6 % – кадмием с максимальным значением (4,8 ОДК) и 13,3 % – свинцом с наибольшим значением, достигающим 1,6 ПДК.

С глубиной (горизонт 5–20 см) валовое содержание металлов снижалось от 2,0 раз для свинца до 3,1 раза для цинка, что свидетельствует о незначительной вертикальной миграцией элементов. Доля загрязненных проб также снижалась и составляла для цинка 26,7 % с максимальным значением (2,5 ОДК), кадмия – 20,0 % (1,8 ОДК) соответственно. Содержание свинца в горизонте 5–20 см не превышало установленных нормативов.

Оценка корреляционной зависимости между валовым содержанием изученных элементов показала на тесную корреляционную связь между ними с коэффициентом корреляции $r = 0,96–0,98$. В то же время корреляционная зависимость между содержанием элементов и кислотностью почвенной среды низкая с коэффициентом корреляции $r = 0,3$, с содержанием гумуса – низкая отрицательная с коэффициентом корреляции $r = -0,2$. Это подтверждает техногенный характер поступления и аккумуляцию элементов в почве, обусловленные наличием значительного количества источников выделения загрязняющих веществ на территории промышленного объекта.

Исследования подвижных форм металлов на территории и в зоне воздействия цементного производства выявили интенсивное накопление в почве всех исследованных металлов. Средняя и максимальная концентрации подвижного свинца в верхнем горизонте почв превышает фон в 8,6 и 22,9 раза соответственно, цинка – 8,9 и 24,1, кадмия – 7,0 и 18 раз (табл. 2).

По сравнению с ПДК, 46,7 % проб почв загрязнены подвижным цинком с наибольшим значением, равным 2,6 ПДК и 2/3 проб – свинцом, с максимальным значением, равным 4,6 ПДК. При этом среднее для промплощадки содержание свинца также превысило гигиенический норматив в 1,7 раза. Для подвижного кадмия превышения над гигиеническим нормативом, разработанным для промышленных территорий, ни на одном участке не зафиксировано.

Оценка корреляционной зависимости между содержанием подвижных форм элементов свидетельствует о тесной корреляционной связи между содержанием свинца и цинка в почве, коэффициент корреляции $r = 0,9$. Однако корреляционная связь между вышеназванными элементами и кадмием незначительная ($r = 0,2$), и отличалась от данных, полученных для валовых форм изученных элементов.

Количество подвижных форм кадмия от валовой концентрации в слое почвы 0–5 см достигла в среднем 72,5 %, изменяясь на различных участках от 17,9 до 74,8 %. Доля же подвижных форм цинка и свинца в 2 раза ниже и в среднем не превысила 32,6 и 38,6 % соответственно, что закономерно при

подщелачивании почв, для которых характерна низкая миграционная активность большинства металлов. Это подтверждает и корреляционный анализ, который свидетельствует, что коэффициент корреляции между кислотностью почвы и содержанием подвижных форм свинца и цинка низкий и составила $r = 0,3$, для кадмия данный показатель отрицательный. В то же время содержание подвижных форм кадмия в почве коррелировал с содержанием органического вещества, коэффициент корреляции между которыми составил $r = 0,6$.

Таблица 2

Основные статистические параметры содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах промплощадки в зоне воздействия цементного производства

Table 2

The main statistical parameters of maintenance of mobile forms of heavy metals in soils of an industrial site in a zone of impact of cement production

Показатель	Cd	Zn	Pb
Глубина отбора 0–5 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	$\frac{0,1-1,8^*}{0,7}$	$\frac{2,7-130,0}{48,0}$	$\frac{0,2-27,5}{10,3}$
Встречаемость значений выше ПДК, %	0	46,7	66,7
Максимальная кратность превышения ПДК	0,5	2,6	4,6
Глубина отбора 5–20 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	$\frac{0,1-0,4}{0,2}$	$\frac{0,4-40,8}{10,9}$	$\frac{0,1-7,6}{2,4}$
Встречаемость значений выше ПДК, %	0	0	13,3
Максимальная кратность превышения ПДК	0,1	0,8	1,3
Фоновое содержание [10]	0,10	5,40	1,20
ПДК	3,5 [11]	50,0 [11]	6,0 [8]

* над чертой – минимальное и максимальное содержание, под чертой – среднее содержание

С глубиной содержание подвижных форм металлов снижалось в 3,5–4 раза, что доказывает низкую вертикальную миграцию изучаемых металлов. Доля подвижных форм элементов от валового содержания также снизилась до 13,3–51,3 %.

Наиболее высокое содержание валовых и подвижных форм металлов характерно для отдельных участков, где сосредоточено значительное количество источников загрязнения: цех помола цемента, газораспределительная станция, цех аспирации, отделение мела и помола угля. На остальной территории содержание кадмия, свинца и цинка значительно ниже, что свидетельствует о локальном характере загрязнения почв, приуроченного непосредственно к источникам выбросов загрязняющих веществ.

Это подтверждает и изучение земель в санитарно-защитной зоне предприятия, где среднее валовое содержание цинка в слое 0–5 см почв низкое и составило 28,3 мг/кг, подвижных форм – 4,1 мг/кг. Концентрация валовых форм кадмия не превысила 0,1 мг/кг, содержание подвижных форм элемента – ниже чувствительности метода. Содержание свинца в этой зоне также было в среднем в 2 раза ниже по сравнению с почвами промплощадки: среднее валовое содержание элемента составило 25,4 мг/кг, подвижных форм – 4,8 мг/кг. При этом максимальное значение валового свинца превысило ПДК для почв жилых зон в 1,7 раза, подвижного – в 1,9 раза.

Предприятие машиностроительного производства. Основным источником поступления загрязняющих веществ в окружающую среду на предприятии машиностроения могут выступать выбросы в атмосферу от стационарных и мобильных источников, производственные отходы, а также функционирующие на территории предприятия гальваническое и литейное производство.

Так, согласно данным [3], в отходах машиностроительного производства и строительном мусоре содержится значительное количество цинка, концентрация которого превышает норматив для почв в 2,2 и 2,0 раза соответственно. Содержание кадмия и свинца в отходах незначительное, однако при их постоянном воздействии на близлежащие территории находящиеся в них металлы могут накапливаться в почвах, что приведет к формированию участков значительного загрязнения почвенного покрова.

Процессы гальванизации также способствуют поступлению металлов в окружающую среду, приводя к загрязнению почв. Выборочное обследование почв в зонах воздействия локальных очистных

сооружений на территории ряда промышленных предприятий г. Минска показало, что содержание кадмия в почвах достигало 14,4 мг/кг, цинка – 3427, свинца – 193 мг/кг почвы, что в десятки и сотни раз превысило допустимые для данных элементов уровни [12].

Расчеты ориентировочного поступления тяжелых металлов в атмосферный воздух с выбросами при выплавке стального и чугуна, выполненные с использованием удельных показателей выбросов и объемов производства литей, показали, что наибольших объемов выбросов следует ожидать для цинка – от 1 до 4 т в год, свинца – 100–400 кг, кадмия – 4–15 кг [13; 14].

Комплексные исследования почв, проведенные нами на территории предприятия машиностроительной отрасли, позволили установить, что кислотность почв в среднем для верхних горизонтов почв составила рНКС1 7,35, изменяясь от рНКС1 5,51 до рНКС1 7,82, что характеризует реакцию почвенной среды как слабощелочную, на отдельных участках – как среднекислую. Такое подщелачивание почв является характерным для городских территорий [4].

Среднее содержание гумуса в слое почвы 0–5 см, как и на предыдущем исследованном промышленном объекте, высокое – 4,7 %, и изменяется от 1,9 % до 9,0 %. В слое 5–20 см содержание гумуса снижалось незначительно и в среднем составляло 3,86 %, варьируя от 1,1 до 14,2 %.

Оценка почв по содержанию тяжелых металлов показала, что почвы на промплощадке предприятия машиностроительной отрасли загрязнены цинком, в меньшей степени – кадмием и свинцом (табл. 3, 4).

Таблица 3

Основные статистические параметры валового содержания тяжелых металлов в почвах промплощадки в зоне воздействия машиностроительного производства

Table 3

The main statistical parameters of the general content of heavy metals in soils of an industrial site in a zone of influence of the enterprise of machine-building production

Показатель	Cd	Zn	Pb
Глубина отбора 0–5 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	<u>0,1–1,6*</u> 0,5	<u>68,4–947,0</u> 48,0	<u>10,9–61,5</u> 10,3
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	44,4	100,0	33,3
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	3,2	17,2	1,4
Глубина отбора 5–20 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	<u>0,1–1,3</u> 0,5	<u>41,4–1021,0</u> 311,1	<u>8,48–77,8</u> 26,8
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	37,5	77,8	22,2
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	2,5	18,6	1,9
Фоновое содержание [10]	0,26	12,3	5,4
ПДК (ОДК)	0,50 [8]	55,0 [8]	40,0 [9]

* над чертой – минимальное и максимальное содержание, под чертой – среднее содержание

Так, средние валовые концентрации вышеуказанных элементов в верхнем горизонте почв промплощадки значительно превышали фоновый уровень – от 1,9 раз для кадмия до 33,7 раза для цинка. Максимальные концентрации превышали фон в 6,2 раза для кадмия, 77,0 – для цинка и 11,4 раза – для свинца.

Сравнение фактических данных с ПДК (ОДК) химических веществ в почве свидетельствует о значительном загрязнении почв на изученной промплощадке цинком, повышенные концентрации которого отмечены во всех отобранных образцах почв. При этом его среднее содержание в слое почв 0–5 см превышало допустимый уровень в 7,5 раза, максимально – в 17,2 раза. Средневзвешенная концентрация кадмия в почве находилась на уровне ПДК, разработанного для почв промышленных территорий. По сравнению с санитарно-гигиеническими нормативами, 44,4 % проб почв загрязнены кадмием с наибольшим значением, равным 3,2 ОДК и 1/3 проб – свинцом, с максимальным значением, равным 1,4 ПДК.

В слое 5–20 см валовое содержание металлов в почве было незначительно ниже по сравнению с горизонтом 0–5 см. Установлено, что в этом слое доля загрязненных проб была несколько ниже и составляла для цинка 77,8 %, кадмия – 37,5 и свинца 22,2 %. При этом максимальное содержание цинка, равное 18,6 ОДК, было выше, чем в слое почв 0–5 см, кадмия и свинца ниже и составляло 2,5 ОДК и 1,9 ПДК соответственно.

Оценка корреляционной зависимости между валовым содержанием кадмия, цинка и свинца указывает на тесную корреляционную связь между кадмием и цинком; кадмием и свинцом с коэффициентом корреляции $r = 0,9$, а также свинцом и цинком с коэффициентом корреляции $r = 0,8$. В то же время корреляционная зависимость между накоплением элементов и содержанием гумуса была невысокой и составляла для свинца $r = 0,2$, для цинка $r = 0,5$. Зависимость между кислотностью почв и содержанием в ней тяжелых металлов отсутствовала.

Результаты изучения подвижных форм кадмия, цинка и свинца в почвах в зоне воздействия предприятия машиностроительного производства свидетельствует, что средняя и максимальная концентрации подвижного кадмия в горизонте почв 0–5 см превышает фон в 3,0 и 9,0 раз, свинца – 3,3 и 14,6 раза соответственно (табл. 4). Содержание цинка в почвах промплощадки, по сравнению с фоном, было очень высокое: средняя, минимальная и максимальная концентрации элемента превышают фоновый уровень в 18,7 раза, 3,2 и 57,7 раза соответственно.

Таблица 4

Основные статистические параметры содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия машиностроительного производства

Table 4

The main statistical parameters of maintenance of mobile forms of heavy metals in soils in a zone of influence of the enterprise of machine-building production

Показатель	Cd	Zn	Pb
Глубина отбора 0–5 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	<u>0,1–0,9</u> 0,3	<u>17,1–311,8</u> 101,1	<u>0,1–17,5</u> 3,9
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	0	33,3	11,1
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	0,3	6,2	2,9
Глубина отбора 5–20 см			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	<u>0,08–0,7</u> 0,3	<u>6,1–331,8</u> 75,6	<u>0,1–16,8</u> 3,4
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	0	22,2	11,1
Максимальная кратность превышения ПДК	0,2	6,6	2,8
Фоновое содержание [10]	0,10	5,40	1,20
ПДК	3,5 [11]	50,0 [11]	6,0 [8]

Установлена тесная корреляционная зависимость между концентрацией подвижных форм металлов в почве. Коэффициент корреляции между кадмием и свинцом, а также цинком и свинцом составил $r = 0,8$, между кадмием и цинком – $r = 0,9$.

Исследования показали, что основным элементом-загрязнителем почв промплощадки предприятия машиностроительного производства являлся цинк, на отдельных участках – свинец. Загрязнения почв кадмием ни на одном из участков не зафиксировано. По сравнению с ПДК, около 30 % проб почв, отобранных из горизонта 0–5 см, загрязнены цинком и 11 % проб – свинцом. При этом среднее и максимальное содержание цинка превысило гигиенический норматив в 2,0 и 6,2 раза соответственно. Максимальное для промплощадки содержание валового свинца также выше ПДК, разработанного для промышленных объектов, в 2,9 раза. Среднее содержание подвижного кадмия в верхнем слое почв ниже норматива для подвижных форм элемента.

Количество подвижных форм исследованных элементов в горизонте почвы 0–5 см не очень высокое. Наибольшей мобильностью характеризовался кадмий, доля подвижных форм которого от валовых концентраций составила 54,2 %. Доля подвижных форм цинка не превышала 24,4 %, свинца – 11,5 %. Невысокая миграционная активность является характерной особенностью слабощелочных почв. Это подтвердил корреляционный анализ: коэффициенты корреляции между кислотностью почв и изучаемыми элементами крайне низкий, для цинка – отрицательный. Тесной корреляционной зависимости между содержанием гумуса и накоплением подвижных форм элементов также не выявлено. Коэффициент корреляции в этом случае составляет для свинца $r = 0,2$, кадмия – $r = 0,3$ цинка – $r = 0,5$.

Отличительной особенностью территории предприятия являлось увеличение с глубиной концентрации подвижного цинка и практически неизменные концентрации кадмия и свинца. Так, содержа-

ние подвижного цинка на глубине в среднем достигло 1,5 ПДК, с максимальным значением, равным 6,6 ПДК, что выше, чем в слое 0–5 см, и может быть связано с большей подвижностью цинка в киллой среде горизонта 5–20 см.

Наиболее высокое содержание валовых и подвижных форм цинка в почве на промплощадке предприятия характерно для территорий, где расположены такие источники загрязнения, как участок изготовления комплектующих, котельная, станция регенерации масел. В районе котельной также наблюдалось накопление в почвах кадмия и свинца.

В санитарно защитной зоне предприятия накопление в почвах валовых и подвижных форм кадмия и свинца не отмечено: среднее содержание составило в слое почв 0–5 см для кадмия составило 0,1 и 0,08 мг/кг, свинца – 22,8 и 0,4 мг/кг соответственно, что подтверждает локальный характер загрязнения почв данными веществами. В то же время валовое содержание цинка в поверхностном горизонте почв достигло допустимого уровня, составив 56,3 мг/кг, с глубиной повысившись до 1,5 ОДК. Подвижные формы цинка составили 13,5 мг/кг, с глубиной также повысившись незначительно. Аналогичное распределение по почвенному профилю характерно для кадмия, концентрация которого в слое 5–20 см, по сравнению со слоем 0–5 см, увеличивалась в 2 раза.

Предприятие литейного производства. Источником загрязнения почв тяжелыми металлами на предприятиях, специализирующихся на литье чугуна и стали, может являться пыль чугунолитейного и электрометаллургического производства, содержание кадмия в которой, согласно [13], составляют 1,04 и 182 мг/кг, свинца 332 и 2030–23200 мг/кг, цинка – 1977 и 112400 мг/кг соответственно, что в сотни и тысячи раз превышает нормативы для почв. В связи с этим попадание загрязненной металлами пыли на почвенный покров близлежащих к источнику загрязнения территорий может привести к загрязнению земель за короткий промежуток времени.

Как и в других исследованных промплощадках, кислотность почв в зоне воздействия литейного производства крайне низкая и составила в среднем pH_{KCl} 7,51, с разбросом значений от pH_{KCl} 6,74 до 8,14, что позволило характеризовать реакцию почвенной среды как нейтральную и слабощелочную.

Содержание гумуса в 20-сантиметровом слое почвы, как и в почвах других исследуемых промплощадок, высокое – 4,20 %, с разбросом значений от очень низкого – 0,74 % до высокого – 14,55 %.

Изучение содержания кадмия, цинка и свинца в почвенном покрове на территории предприятия, специализирующемся на выплавке чугунных изделий, показало существенное накопление в почвах валовых форм вышеназванных элементов, а также повышенное содержание подвижных форм цинка и свинца (табл. 5).

Таблица 5

Основные статистические параметры валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия литейного производства (горизонт 0–20 см)

Table 5

The main statistical parameters of the general contents and mobile forms of heavy metals in soils in a zone of influence of the enterprise of foundry production (the horizon of 0–20 cm)

Показатель	Cd	Zn	Pb
Валовое содержание			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	<u>0,1–2,4</u> 0,3	<u>38,8–1208,5</u> 146,7	<u>9,6–218,2</u> 36,2
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	7,1	82,1	21,4
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	4,8	21,9	6,8
Фоновое содержание [7]	0,26	12,3	5,4
ПДК (ОДК)	0,50 [8]	55,0 [8]	40,0 [9]
Подвижные формы			
Фактическое содержание химического элемента, мг/кг	–	<u>9,9–422,2</u> 61,4	<u>2,6–145,0</u> 24,5
Встречаемость значений выше ПДК (ОДК), %	–	75,0	92,9
Максимальная кратность превышения ПДК (ОДК)	–	8,4	24,1
Фоновое содержание в почвах Беларуси [10]	0,10	5,40	1,20
ПДК	3,5 [11]	50,0 [11]	6,0 [8]

* над чертой – минимальное и максимальное содержание, под чертой – среднее содержание

Изучение валового содержания тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия литейного производства показало, что средние концентрации металлов в слое почв 0–20 см превышают фоновый уровень: кадмия – в 1,2 раза, цинка – 11,9, свинца – в 6,7 раза. Максимальное значение элементов выше фона от 9,2 раза для кадмия до нескольких десятков раз для цинка и свинца.

Сравнение полученных данных с установленными для валовых форм элементов нормативами показало, что среднее содержание кадмия и свинца в почве не превышало допустимый уровень, содержание цинка составило 2,7 ОДК. По сравнению с гигиеническими нормативами, более 4/5 проб загрязнены цинком с максимальным значением, равным 21,9 ОДК, 21,4 % – свинцом с максимальным значением, достигающим 6,8 ПДК, и 7,1 % – кадмием с наибольшим значением, доходящего до 4,8 ОДК.

Оценка корреляционной зависимости между валовым содержанием кадмия, цинка и свинца выявила тесную корреляционную связь между кадмием и цинком с коэффициентом корреляции $r = 0,9$, кадмием и свинцом $r = 0,8$, свинцом и цинком $r = 0,8$. В то же время корреляционная зависимость между накоплением элементов и pH_{KCl} было незначительная, с коэффициентом корреляции для всех элементов $r = 0,1$. Зависимость между содержанием гумуса в почве промплощадки предприятия и накоплением в ней тяжелых металлов практически отсутствует.

Оценка подвижности элементов свидетельствует, что в слое почвы 0–20 см промплощадки содержание подвижного цинка превысило фоновый уровень от 1,8 до 78,2 раза. Средняя, минимальная и максимальная концентрация свинца превысила фон в 20,4, 2,2 и 120,8 раза соответственно. Содержание кадмия было ниже чувствительности метода. Корреляционная связь между концентрациями свинца и цинка в почве тесная и составила $r = 0,7$.

Сравнение полученных данных с санитарно-гигиеническими нормативами показало, что среднее содержание подвижного цинка превысило допустимый уровень в 1,2, а свинца – в 4,1 раза. Максимальная зафиксированная в почвах концентрация подвижного цинка достигла 8,4 ПДК, свинца – 24,2 ПДК. Доля почвенных проб, загрязненных цинком была выше допустимого уровня и составила 75 %, свинцом – более 92 %.

Оценка доли подвижных форм элементов от их валовых форм выявила высокую подвижность свинца, которая в среднем составила 64,0 %, более низкую подвижность цинка – 44,8 %. При этом корреляционной связи между накоплением в почве подвижных форм металлов и pH_{KCl} среды, а также содержанием в почве гумуса не выявлено.

Наиболее высокие концентрации валового и подвижного цинка на территории предприятия отмечены в зоне воздействия литейного цеха, цеха шихты и формовочных материалов, гаражей и других источников загрязнения, где его содержание в почвах превысило допустимый уровень в несколько раз, на отдельных участках – в десятки раз. На этих же участках отмечено загрязнение почв свинцом.

Загрязнение почв цинком отмечено не только на территории предприятия, но и в его санитарно-защитной зоне. Средняя концентрация валового цинка достигла 62,7 мг/кг или 1,1 ОДК, максимальная – 1,4 ОДК. Среднее содержание свинца и кадмия не превысило нормативы для данных элементов, составив 17,4 и 0,1 мг/кг соответственно.

Содержание подвижного цинка в среднем в санитарно защитной зоне составило 23,6 мг/кг или 1,0 ПДК, с максимальным значением, составляющем 1,6 ПДК. Содержание подвижного свинца также превысило гигиенический норматив на разных участках от 1,3 до 2,9 раза. Концентрации кадмия, как и на территории промплощадки, была ниже чувствительности метода.

Заключение

Оценка валового содержания кадмия, цинка и свинца в зоне воздействия промышленных предприятий выявила загрязнение почв цинком и кадмием, в меньшей степени – свинцом. Сравнение полученных данных с санитарно-гигиеническими нормативами показало, что среднее содержание цинка в почвах в зоне воздействия машиностроительного производства превысило допустимый уровень в 7,5 раза, цементного и литейного производства – в 2,7 раза. Доля загрязненных проб почв составила от 80,0 % на промплощадке литейного производства до 100 % – на предприятии машиностроительного комплекса. Максимальные концентрации цинка составили от 7,7 до 21,9 ОДК.

Загрязнение почв валовым кадмием менее выражено. На предприятии по производству цемента данным элементом загрязнено 66,6 % проб со средним значением, равным 1,8 ОДК. В зоне воздействия машиностроительного и литейного производства доля загрязненных проб составила 44,4 и 7,1 % проб соответственно, при этом среднее содержание элемента не превысило допустимый уровень. Максимальные значения концентрации кадмия превысили ОДК от 3,2 до 4,8 раза.

Загрязнение почв свинцом незначительное и носит фрагментарный характер. Доля проб почв, где валовое содержание свинца превысило гигиенический норматив, составила в зоне воздействия литейного производства – 21,4 %, на предприятии по производству цемента – 13,3 %, машиностроительного

комплекса – 33,3 %. При этом средние валовые концентрации металла ниже установленного для площадок гигиенического норматива. Наибольшая концентрация свинца отмечена в зоне воздействия литейного производства, где его содержание составило 6,8 ПДК.

Оценка подвижных форм металлов выявила загрязнение почв преимущественно цинком и свинцом и отсутствие загрязнения кадмием. Среднее содержание подвижных форм цинка в зоне воздействия литейного производства превысило гигиенический норматив в 1,2 раза, машиностроительного производства – 1,6 раза, цементного производства – не достигло предельно допустимого уровня. Доля почвенных проб, загрязненных цинком, составила на предприятии машиностроения – 33 %, предприятии по производству цемента – 47 %, литейном производстве – 75 %. Максимальные зафиксированные концентрации металла в почвах промплощадок изученных промышленных объектов составили от 2,6 до 8,4 ПДК.

Наибольшее загрязнение почв подвижным свинцом отмечено на предприятии, специализирующемся на литейном и цементном производстве, где среднее содержание элемента превысило норматив в 4,1 и 1,7 раза соответственно. На предприятии машиностроения среднее содержание свинца ниже гигиенического норматива. Доля проб почв, загрязненных свинцом, выше ПДК составила на предприятии машиностроения – 11 %, предприятии по производству цемента – 66 %, литейном производстве – 92 %. Наибольшие отмеченные в почвах концентрации подвижного свинца достигли от 2,9 до 24,2 ПДК.

В санитарно-защитных зонах исследованных промышленных объектов концентрации подвижных форм кадмия и цинка, по сравнению с промплощадками предприятий, незначительные и не превышали гигиенических нормативов, установленных для жилых зон. В то же время в почвах СЗЗ предприятия, специализирующегося на литейном производстве, концентрации подвижного свинца превысили гигиенический норматив на разных участках от 1,3 до 2,9 раза. Содержание цинка в среднем составило 1,0 ПДК, с максимальным значением – 1,6 ПДК.

Библиографические ссылки

1. Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами / Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.03-02-2013 (02120) [Электронный ресурс]. 2017. URL: http://tnpa.ecoinv.by/index.php?option=com_rsfiles&view=files&layout=view&tmpl=component&path=%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8%2F%D0%A2%D0%9A%D0%9F_17.03-02-2013.pdf (дата обращения: 03.10.2017).
2. Реестр методик выполнения измерений в области экологического контроля: в 3 ч. / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Минск, 2006.
3. *Какарека С. В., Хомич В. С., Кухарчик Т. И. и др.* Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей. Минск, 1998.
4. *Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И.* Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск, 2004.
5. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / под ред. К. И. Лукашева. Минск, 1985.
6. *Натаров В. М., Лукашев О. В., Савченко В. В.* Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике. Минск, 2013.
7. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecoinfo.by/uploads/archive/Book2015/1-soil-25-11.pdf> (дата обращения: 11.10.2017).
8. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1- 2004. Перечень предельно допустимых кон-центраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. [Электронный ресурс]. URL: <http://iso14000.by/library/low/earth/223> (дата обращения: 11.10.2017).
9. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов: Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 19.11.2009. № 125.
10. *Мечковский С. А., Чертко Н. К., Заневская Ю. В.* Оценка техногенного загрязнения дерново-подзолистых почв на основе подвижных форм хрома // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 128–130.
11. Предельно допустимые концентрации подвижных форм хрома, цинка, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения: Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 06.11.2008. № 187.
12. *Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. и др.* Пространственная структура, уровни и источники загрязнения почв г. Минска // Природные ресурсы. 2003. № 4. С. 42–53.
13. Методические рекомендации по идентификации и оценке источников выбросов тяжелых металлов : Утв. приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 12 декабря 2003 г., № 503: Сб. нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Минск, 2004. Вып. 47. С. 63–98.
14. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. A Joint EMEP CORINAIR Production / Prepared by the EMEP Task Force on Emission Inventories. – 3rd edition. URL: <http://www.reports.eea.eu.int/EMEP-CORINAIR4/en>. (data of access: 11.11.2006).

Referenes

1. [Rules and an order of definition of pollution of lands (including soils) chemicals / the Technical code of the established practice of ТКР 17.03-02-2013 (02120)]. 2017. Access mode: http://tnpa.ecoinv.by/index.php?option=com_rsfiles&view=files&layout=view&tmpl=component&path=%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8%2F%D0%A2%D0%9A%D0%9F_17.03-02-2013.pdf (date of access: 10.03.2017) (in Russ.).
2. [The register of techniques of performance of measurements in the field of environmental control: in 3 sect. / Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of Republic of Belarus]. Minsk, 2006 (in Russ.).
3. Kakareka S. V., Homich V. S., Kukharchik T. I., et al. [Emissions of heavy metals in the atmosphere: experience of assessment of specific indicators]. Minsk, 1998 (in Russ.).
4. Homich, V. S., Kakareka S. V., Kukharchik T. I. [Ekogeokhimiya of city landscapes of Belarus]. Minsk, 2004 (in Russ.).
5. Lukashev K. I. (ed). [Geochemical studying of landscapes Berezinsky biospheric заповедни]. Minsk, 1985 (in Russ.).
6. Natarov V. M., Lukashev O. V., Savchenko V. V. [Complex geochemical background monitoring in the Berezinsky biospheric reserve]. Minsk, 2013 (in Russ.).
7. [The national system of monitoring of the environment in Republic of Belarus]. URL: <http://www.ecoinfo.by/uploads/archive/Book2015/1-soil-25-11.pdf> (date of access: 10.11.2017) (in Russ.).
8. [Hygienic standards 2.1.7.12-1 – 2004. The list of maximum permissible concentration (maximum allowable concentration) and the approximately admissible concentration (AAC) of chemical substances in the soil]. URL: <http://iso14000.by/library/low/earth/223> (date of access: 10.11.2017) (in Russ.).
9. [Standards of threshold limit values of mobile forms of nickel, copper and gross content of lead in the lands (including soils) located in borders of settlements for different types of territorial zones on primary functional use of territories of settlements: Approved by the Resolution of the Ministry of Health of Republic of Belarus 11.19.2009. No. 125] (in Russ.).
10. Mechkovsky S. A., Chertko N. K., Zanevskaya Yu. V. [Otsenka of technogenic pollution of cespitose and podsolic soils on the basis of mobile forms of chrome]. *Geography and natural resources*. 1999. No. 1. P. 128–130 (in Russ.).
11. [Threshold limit values of mobile forms of chrome, zinc, cadmium in soils (lands) of various functional zones of settlements, the industries, transport, communication, power, defense and other appointment: the Ministries of Health of Republic of Belarus Approved by the Resolution 11.06.2008. No. 187] (in Russ.).
12. Homich V. S., Kakareka S. V., Kukharchik T. I., et al. [Spatial structure, levels and sources of pollution of soils of Minsk]. *Natural resources*. 2003. No. 4. P. 42–53 (in Russ.).
13. [Methodical recommendations about identification and assessment of sources of emissions of heavy metals: УТВ. the order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of Republic of Belarus of December 12, 2003, No. 503. *Collection of normative documents concerning environmental protection*]. Minsk, 2004. Issue 47. P. 63–98 (in Russ.).
14. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. A Joint EMEP CORINAIR Production / Prepared by the EMEP Task Force on Emission Inventories. 3rd edition. URL: <http://www.reports.eea.eu.int/EMEP-CORINAIR4/en> (date of access: 11.11.2006).

Статья поступила в редколлегию 28.11.2017
Received by editorial board 28.11.2017

УДК 502.171:622.333+550.42:546.711(477.83)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОХИМИИ МАРГАНЦА В ЗОНЕ ТЕХНОГЕНЕЗА ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

И. Н. КОЧМАР¹⁾, В. В. КАРАБЫН¹⁾

¹⁾Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности,
ул. Клепаревская, 35, 79007, Львов, Украина

Исследуется оценка факторов экологической опасности окружающей среды в зоне влияния шахты Визейская Львовско-Волинского каменноугольного бассейна на основе распределения различных форм марганца в породах террикона и установления закономерностей распространения форм марганца в зоне техногенеза. В аргиллитах, алевролитах, песчаниках, угле террикона и почвах в зоне техногенеза шахты установлены концентрации марганца в валовой форме, а также солянокислых, ацетатно-аммонийных и водорастворимых экстрактов. Содержание валовых форм марганца в породах терриконов шахты Визейская изменяется от 118,61 мг/кг до 3849,61 мг/кг и в среднем составляет 1181,14 мг/кг. По отношению к валовой форме коэффициенты концентрации марганца в солянокислом экстракте меняются от 0,014 до 0,242 в породах и от 0,86 до 0,94 в почвах; в ацетатно-аммонийном – от 0,020 до 0,177 в породах и от 0,23 до 0,34 в почвах; в водном экстракте – от 0,0005 до 0,072 в породах. Установлены закономерности изменения концентрации разных миграционных форм марганца между негорелыми и перегорелыми породами, а также в породах разного гранулометрического состава. Результаты исследований дают основание оценить породы террикона шахты Визейская в части распространения различных форм марганца в породах и почвах как пригодные к использованию и безопасные для окружающей среды.

Ключевые слова: угледобыча; формы нахождения металлов; экологическая безопасность; геохимия марганца; миграция.

ECOLOGICAL ASPECTS OF MANGANESE GEOCHEMISTRY IN THE ZONE OF MINING WASTE HEAPS TECHNOGENESIS

I. N. KOCHMAR^a, V. V. KARABYN^a

^aLviv State University of Life Safety, Klyparivska street, 35, 79007, Lviv, Ukraine
Corresponding author: irynalevytska1@gmail.com

In this article the assessment of the environmental hazards in the zone affected by the Vizeiska Mine is presented. The main reason of its negative effect is caused by the distribution of various forms of manganese in the rocks of the waste heaps. The assessment is based on the establishment of the patterns of manganese form distribution in the technogenesis zone. The concentrations of manganese in total form and in hydrochloric acid, acetate-ammonium and water-soluble extracts are established in mudstones, siltstones, sandstones, coal waste heaps and soils in the technogenesis zone of the mine. The content of total forms of manganese in the rocks of the Vizeyska mine waste heaps changes from 118,61 mg/kg to 3849,61 mg / kg and an average content is 1181,14 mg / kg. Relative to the total form, the concentration coefficients of manganese in the hydrochloric acid extract vary from 0,014 to 0,242 in rocks and from 0,86 to 0,94 in soils; in acetate-

Образец цитирования:

Кочмар И. Н., Карабын В. В. Экологические аспекты геохимии марганца в зоне техногенеза отвалов угольных шахт // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. – 81–91.

For citation:

Kochmar I. N. , Karabyn V. V. Ecological aspects of manganese geochemistry in the zone of mining waste heaps technogenesis. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 81–91. (in Russ.).

Авторы:

Ирина Николаевна Кочмар – преподаватель кафедры экологической безопасности.
Василий Васильевич Карабын – кандидат геологических наук, доцент; заведующий кафедрой экологической безопасности.

Authors:

Iryna N. Kochmar, lecturer of the department of ecological safety.
irynalevytska1@gmail.com
Vasyl V. Karabyn, PhD (geology), associate professor; head of the department of ecological safety.
vasyl.karabyn@gmail.com

ammonium – from 0.020 to 0.177 in rocks and from 0,23 to 0,34 in soils; in the water extract – from 0,0005 to 0,072 in the rocks. The patterns of variation in the concentration of different migration forms of manganese between unburnt and burnt rocks, as well as in rocks of different granulometric composition, are established.

The results of the research give an opportunity for evaluating the rocks of the Vizeyska Mine waste heaps in the area, where various forms of manganese is present in rocks and soils. These rocks are suitable for use and safe for the environment.

Key words: coal-mining; heavy metals speciation; environmental safety; geochemistry of manganese; migration.

Введение

Наличие увеличенных концентраций тяжелых металлов в почвах, породах и отходах угледобычи могут служить причиной нарушения экологического равновесия на отдельных участках геологической среды. Большое значение в данном случае играют подвижные формы тяжелых металлов, которые могут вымываться из отходов угледобычи и попадать в почву, наземные и подземные водные ресурсы, а также поглощаться растениями. Среди ряда тяжелых металлов, марганец интересен значительной биодоступностью, большой изменчивостью его содержания в различных составляющих окружающей среды.

Марганец является одним из наиболее распространенных микроэлементов в литосфере. Среднее содержание марганца в земной коре 1000 мг/кг [1], его содержание в горных породах изменяется в пределах 350–2000 мг/кг. В глобальном масштабе содержание марганца в почвах изменяется от 10 до 9000 мг/кг, при этом максимум на кривой его распределения приходится на интервал 200–800 мг/кг [2]. Известно около 250 минералов, в которых Mn является главным компонентом [3]: пиролюзит ($MnO_2 \cdot xH_2O$), манганит ($MnO(OH)$), браунит ($3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$), родохрозит ($MnCO_3$) и др. Наиболее распространенным в породообразующих силикатных минералах является его окисленное состояние Mn^{+2} . Катион Mn^{2+} обладает способностью замещать двухвалентные катионы некоторых элементов (Fe^{2+} , Mg^{2+}) в силикатах и оксидах [2]. Вследствие этого марганец концентрируется в почвенных горизонтах, обогащенных оксидами и гидроксидами железа. Вследствие большой биофильности Mn также аккумулируется в верхнем слое почвы в результате его фиксации органическим веществом.

Кларк марганца в почвах земного шара 545 мг/кг, кларк городских почв – 729 мг/кг [2; 4]. Региональные кларки марганца для почв Украины, мг/кг [по А. И. Фатееву]: Полесье 395 (от 75 до 1400), Лесостепь 735 (от 240 до 3000), Степь 670 (от 200 до 1600), Карпаты: предгорье 676 (от 150 до 1575), горные районы 924 (от 500 до 1500) [5].

Поведение марганца в поверхностных отложениях исключительно сложное и зависит от различных факторов, в том числе наибольшее значение имеют рН и Eh среды [2; 6]. Наибольшую подвижность Mn имеет в условиях восстановительной кислой среды, где имеются ионы в виде Mn^{2+} в форме закисных солей хлоридов, сульфатов, бикарбонатов.

Наибольшее количество подвижных форм марганца находится в дерново-подзолистых почвах – 50–150 мг/кг, меньше в черноземах – 1–75 мг/кг, сероземах – 1,5–125 мг/кг, в каштановых и бурых почвах – 1,5–75 мг/кг. Наименьшее количество подвижных форм марганца наблюдается в карбонатных и перегнойно-карбонатных почвах [2]. Растворимые формы марганца имеют важное экологическое значение, поскольку его содержание в растениях зависит главным образом от растворимости в почвах. В хорошо дренированных почвах растворимость Mn всегда возрастает с увеличением кислотности почв [2; 7]. Содержание общего и подвижного марганца (в мг/кг) в почвах стран СНГ, по данным [8], представлены в табл. 1.

Основными барьерами на пути перемещения марганца в почве является щелочная среда, карбонаты, а также повышенное содержание гумуса [8]. В аэробных условиях марганец характеризуется низкой растворимостью. В щелочной среде растворимость может снижаться в связи с образованием гидроксидов.

Поглощение Mn растениями осуществляется в результате метаболических процессов, поскольку он транспортируется в растениях в виде Mn^{2+} . В общем случае марганец активно поглощается и быстро переносится растениями.

Следует подчеркнуть, что содержание марганца в растениях зависит не только от их природы, но и от общего его количества в почвах, которое во многом определяется свойствами последних. Обычно наибольшие количества легко доступного для растений Mn характерны для кислых и затопляемых почв. Для его концентрации в растениях характерна отрицательная корреляция с рН почв и положительная с содержанием органического вещества [9].

Все растения отличаются специфической потребностью в марганце, поскольку наиболее важной его функцией является участие в окислительно-восстановительных реакциях. Марганец участвует

в кислородобразующей системе фотосинтеза, а также играет основную роль в переносе электронов фотосинтезирующей системы [2; 10].

Таблица 1

Содержание общего и подвижного марганца (в мг/кг) в почвах стран СНГ (по данным [8])

Table 1

The content of total and mobile forms of manganese (in mg / kg) in the soils of the CIS countries (according to [8])

Почва	Общий марганец (границы колебаний)	Подвижный марганец (границы колебаний)
Подзолистые песчаные	170 (40–330)	–
Подзолистые глинистые	1270 (230–7200)	590 (60–1700)
Болотные	330 (50–1000)	320 (190–640)
Серые лесные	1000 (149–3980)	460 (115–1360)
Черноземы	840 (200–5600)	430 (54–2100)
Каштановые	960 (600–1270)	410 (210–640)
Засоленные	730 (400–1640)	420 (130–840)
Сероземы	790 (310–3800)	–
Красноземы	1440 (200–4000)	–
Горные	1170 (100–650)	670 (60–1220)

Все растения отличаются специфической потребностью в марганце, поскольку наиболее важной его функцией является участие в окислительно-восстановительных реакциях. Марганец участвует в кислородобразующей системе фотосинтеза, а также играет основную роль в переносе электронов фотосинтезирующей системы [2; 10].

Содержание Mn в растениях колеблется от 0,0001 до 0,02 %. В условиях дефицита этого элемента в первую очередь уменьшается продуцирование фотосинтетического кислорода, а содержание хлорофилла и сухой массы листьев меняется незначительно. Нарушение фотосинтеза сопровождается резким уменьшением содержания углеводов в растениях, особенно в корнях [2; 11].

Угли обеднены марганцем по сравнению с породами земной коры и почвами. По данным М. П. Кетрис, среднее содержание этого элемента в бурых углях составляет 100 г/т, в каменных – 70 г/т. В то же время известны угли с аномально высоким содержанием марганца, например, угли пласта h10 юго-западного Донбасса содержат этот металл в количестве до 1640 мг/кг [12]. По данным [13], содержание Mn в растительности на отвалах угледобычи в пределах Нововольнского горнопромышленного района Львовского каменноугольного бассейна колеблется в пределах 5,4–80,3 мг/кг.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) марганца в почвах с учетом фона составляет 1500 мг/кг (валовое содержание), лимитирующий показатель вредности – общесанитарный. Что касается подвижной формы марганца с учетом фона (кларка) ПДК этого металла в экстракте 0,1 н H₂SO₄ для чернозема – 700 мг/кг; дерново-подзолистых почв с pH 4,0 – 300,0 мг/кг, pH 5,1 – 6,0 – 400,0 мг/кг, pH 6,0 – 500,0 мг/кг. В экстракте ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8 ПДК для чернозема – 140 мг/кг, дерново-подзолистых почв с pH 4,0 – 60,0 мг/кг, pH 5,1 – 6,0 – 80,0 мг/кг pH 6,0 – 100 мг/кг [14].

Цель исследования – оценка факторов экологической опасности окружающей среды в зоне влияния шахты Визейская Львовско-Волынского каменноугольного бассейна, вызванных распределением различных форм марганца в породах терриконов шахты.

Объектом исследований является отвальные породы и почвы в зоне влияния шахты Визейская, которая относится к Червоноградскому горно-промышленному району Львовско-Волынского каменноугольного бассейна (ЛВБ). Шахта введена в эксплуатацию в 1960 г. (ее производственная мощность достигала 0,25 млн т угля в год), свою работу прекратила в 2009 г. Добыча угля сопровождалась накоплением на поверхности значительного количества отвальных пород. Терриконы расположены на расстоянии 250 м северо-восточнее шахты на аллювиальных отложениях р. Раты и водно-ледниковых отложениях на отметке 195 м. Атмосферные осадки с террикона попадают непосредственно в р. Рату [15], поэтому определение концентрации подвижных форм тяжелых металлов является весьма актуальным (рис. 1). Площадь основания террикона шахты Визейская составляет 225 000 м², высота 10–40 м. Угол откоса пород – 25–47°. В терриконе накоплено 5 100 000 м³ породы. Террикон неоднороден по строению, состоит из двух взаимосвязанных частей – западной и восточной. Западная часть террикона составлена

преимущественно горелыми породами в форме усеченного конуса, восточная – негорелыми, сформированными в плоский отвал. На склонах террикон частично рекультивирован путем насыпания слоя песка и суглинков толщиной 0,5–0,7 м, который порос травой [15].

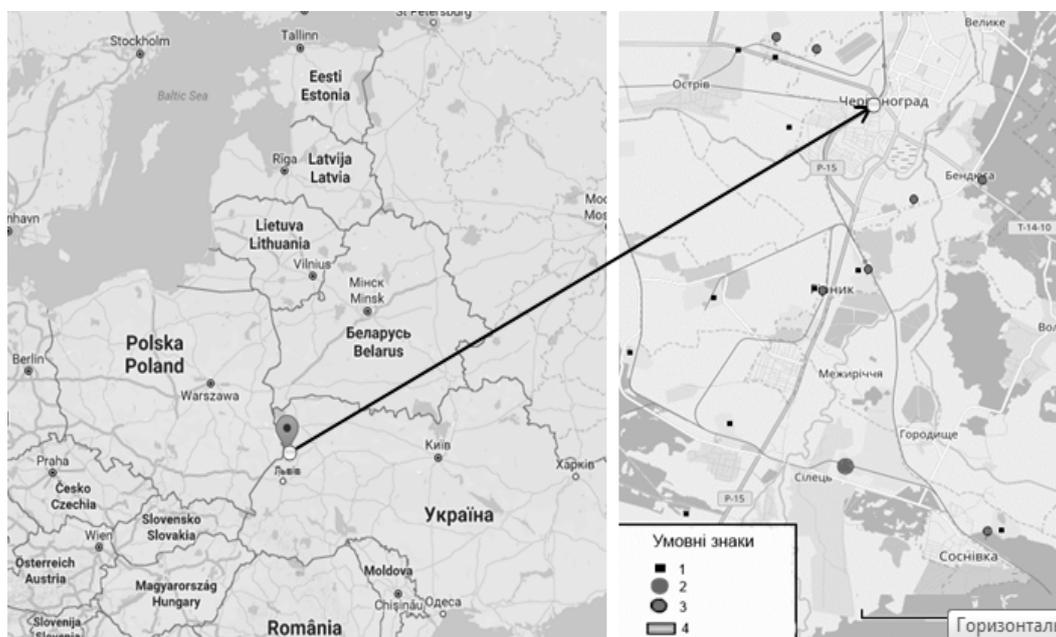


Рис. 1. Карта расположения объектов угледобычи Червоноградского горнопромышленного района ЛВБ (по [16]):
1 – шахта, 2 – шахта Визейская, 3 – вода питьевая и техническая, 4 – автомобильные дороги

Fig. 1. Map of the location of coal mining objects in the Chervonogradsky mining region of the LVB (from [16]):
1 – mine, 2 – Vizeiska mine, 3 – drinking and technical water, 4 – motor roads

Предметом исследований являются факторы экологической опасности окружающей среды в зоне влияния шахты Визейская, вызванные присутствием различных форм марганца в породах терриконов шахты.

Оценка факторов экологической опасности является актуальной задачей, особенно в зоне влияния объектов повышенной техногенной опасности, потенциальных источников загрязнения питьевых вод и тому подобное. Следует также отметить, что Львовщина относится к территориям с высокой удельной плотностью объектов повышенной опасности – 38,5 объектов/тыс. км² [17], что создает необходимость более детальной экологической оценки и постоянно действующего мониторинга таких объектов [18– 20].

Материалы и методы исследования

Отбор проб пород проводился согласно ГОСТ 17.4.4.02–84 непосредственно с террикона. Отобрано 20 проб пород из разных его частей террикона. Осуществлено макроскопическое описание пород, установлено их количественные соотношения. Породы расфасованы по литологическому составу. Также отобрано 10 проб почвы на расстояниях 50 и 200 м от подножия террикона. Все пробы были высушены, измельчены. Экстракты из пород осуществляли из объединенных проб. Объединены пробы негорелых аргиллитов, горелых аргиллитов, негорелых алевролитов, горелых алевролитов, горелых песчаников, негорелого угля, почв на расстояниях 50 и 200 м от террикона.

Приготовление растворов экстрактов из пород и почв осуществлено по ГОСТу 4770.9:2007. Валовую форму Mn определяли после разрушения породы 1 н. HNO₃ в присутствии H₂O₂. Кислоторастворимую форму марганца определяли в экстракте 0,1 н раствора HCl, подвижные формы с ацетатно-аммонийного буферного раствора (ААБР) с рН 4,8, и водном экстракте с использованием дистиллированной воды. При изготовлении экстрактов использовались отдельные нативные навески проб. Соблюдено соотношение масс «порода–раствор» 1:10.

Установление концентрации марганца в исследуемых образцах осуществляли атомно-абсорбционным методом с использованием спектрометра ААС-115-М-1 [21].

Кислоторастворимая форма тяжелых металлов считается основной техногенной составляющей в запасе тяжелых металлов в почве [22]. ААБР извлекает в основном химические элементы в ионообменной форме, которые являются наиболее доступными для растений, поэтому те количества металлов, которые

изъяты ААБР, называют биодоступными. Следует отметить, что ацетат-аммонийный экстракт, кроме изъятия обменных форм, способствует экстракции некоторых количеств металлов из органических веществ, оксидов и гидроксидов [23].

Относительно оценки металлов, которые изымаются ацетатно-аммонийными и водными экстрактами, нет терминологической определенности. В подавляющем большинстве научных работ [24–27] и стандартов (ДСТУ 4770.1: 2007–4770.9: 2007) те количества металлов, которые извлечены ацетатно-аммонийным буферным раствором, отождествляют с подвижными формами металлов. В работе [28] к подвижным формам зачисляют те количества металлов, которые изъятые из почвы ААБР и солянокислым экстрактом (1 н HCl). В то же время подвижными, конечно, являются металлы, извлеченные водным экстрактом. Во избежание недоразумений, мы в данном исследовании избегаем использовать термин «подвижная форма» и будем пользоваться терминами «ацетатно-аммонийный экстракт» и «водный экстракт».

Результаты исследования и обсуждение

Литологический и минеральный состав пород. Породы террикона шахты Визейская представлены горелыми и негорелыми аргиллитами, алевролитами, песчаниками, углем в соотношении 55:25:15:2. Литологическое описание пород приведены ниже по результатам исследований И. Б. Кныша [15].

Аргиллиты серые до черного. Основная масса представлена глинистыми минералами: гидрослюдой, каолинитом и частично хлоритом. Алевролиты серые и темно-серые, слабослоистые, размером зерен > 0,07 мм. Содержат кварц (до 70 %), полевые шпаты (8–10 %), слюды (3–6 %), уголь (2 %), гидрогетит-лимонит (180 зерен на 0,01 г породы), пирит (до 150 зерен на 0,01 г породы фракции 0,1–0,01 мм).

Песчаники светло-серые, серые с зеленоватым или бурым оттенком размером зерен – до 1 мм. Содержат кварц (50–60 %), полевые шпаты (1–10 %), слюды (до 10 %), пирит (до 360 зерен на 0,01 г породы фракции 0,25–0,1 мм), гидрогетит-лимонит (220 зерен на 0,01 г породы), уголь (24 обломки на 0,01 г породы). В породах установлены также хлорит, халькопирит, изредка встречаются лейкоксен, гранат, циркон. Уголь шахты Визейская является гумусовым по происхождению. Главные минеральные включения в угле – глинистый материал, пирит и кальцит. Всего в смеси пород количество пирита не превышает 2,6 %. Зольность смеси пород террикона колеблется от 41 до 98 % (дисперсия 187) и в среднем составляет 72 %, что несколько ниже, чем на других терриконах бассейна (75–79 %).

Изменчивость содержания валовых форм марганца. Среднее содержание марганца в углях ЛВБ составляет 164 мг/кг, углях шахты Визейская 163,7 г/т [15], что в 2,3 раза больше в сравнении с его кларком в каменных углях мира. Породы терриконов Львовско-Волынского каменноугольного бассейна содержат марганец в концентрациях от 390 мг/кг до 2076 мг/кг. Опубликованных данных по распространению марганца в отдельных разновидностях пород угольной формации ЛВБ крайне мало, а информация о концентрации металлов в смеси пород является менее пригодной для прогнозирования геохимических и экологических изменений (табл. 2).

Данные табл. 2 свидетельствуют о крайне высокой изменчивости содержания марганца в породах терриконов шахт Червоноградского горно-промышленного района ЛВБ. Наиболее изменчивой является концентрация марганца в песчанике 1350,0–2036,9 мг/кг. Следует отметить об отсутствии единой схемы концентрации марганца в породах различного литологического состава: концентрация марганца возрастает в ряде алевролит – песчаник – аргиллит на терриконах шахты Визейская и Межиричанская, а также в ряде аргиллит – алевролит – песчаник на терриконе шахты Червоноградская.

По данным наших исследований (табл. 3), концентрация валовой формы марганца в породах терриконов шахты Визейская меняется от 118,61 мг/кг до 3849,61 мг/кг и в среднем составляет 1181,14 мг/кг. Наиболее высокое содержание марганца обнаружено нами в перегорелых алевролитах, наименьшее в песчаниках. Коэффициенты концентрации марганца в негорелых разновидностях пород относительно кларка в осадочных породах следующие: уголь (2,0), алевролит (0,9), аргиллит (0,7); в перегорелых образцах: алевролит (5,8), аргиллит (1,0), песчаник (0,2).

В почвах, отобранных в зоне влияния террикона шахты Визейская, содержание валовых форм марганца составляет 7,99 мг/кг на расстоянии 50 м и 10,57 мг/кг на расстоянии 200 м от террикона.

Изменчивость содержания марганца в солянокислом и ацетат-аммонийном экстрактах. Результаты исследований распространения различных форм Mn в зоне техногенеза терриконов угольных шахт крайне мало. Обусловлено это прежде всего высокой трудоемкостью и стоимостью таких исследований. Вместе с тем именно информация о кислоторастворимой, биодоступной, подвижной форме является важнейшей для оценки экологической безопасности и прогнозирования миграции при сравнении результатов исследований. Не всегда аналитические определения осуществляются одинаковыми методами, что является проблематичным.

Содержание валовых форм марганца в породах терриконов угольных шахт
Львовско-Волинского каменноугольного бассейна

Table 2

The content of total forms of manganese in the rocks of coal waste heaps of the Lvivsko-Volynsky Coal Basin

Шахта	Концентрация марганца, мг/кг				Источник
	Аргиллит	Алевролит	Песчаник	Смесь пород	
Визейская	2061,6	1088,6	1607,6	1910,0	[15]
Межиричанская	2076,0	1100,0	1350,0	577,4	[29]
Червоноградская	1631,8	1751,0	2036,9	1270,0	[30]
Нововолинская 1	–	–	–	390,0	[31]
Нововолинская 2	–	–	–	770,0	[31]
Нововолинская 3	–	–	–	590,0	[31]
Нововолинская 4	–	–	–	560,0	[31]
Нововолинская 5	–	–	–	570,0	[31]
Нововолинская 6	–	–	–	560,0	[31]
Нововолинская 8	–	–	–	504,0	[31]

В породах террикона шахты Визейская самая большая концентрация марганца в кислоторастворимом экстракте обнаружена нами в негорелом угле (218,26 мг/кг), меньшая – в негорелых алевролитах (152,48 мг/кг), перегоревших алевролитах (145,34 мг/кг) и наименьшая – в перегоревших аргиллитах (9,90 мг/кг) (табл. 3).

Таблица 3

Распределение содержания различных форм марганца в породах террикона шахты Визейская и почвах
зоны ее воздействия

Table 3

Distribution of various forms of manganese in the rocks of the Vizeyska mine waste heaps and soils in the zone of its impact

Наименование породы	Содержание Mn, мг/кг			
	Валовая форма	Солянокислый экстракт	Ацетатно-аммонийный экстракт	Водный экстракт
Негорелий аргиллит	457,22	65,67	16,48	16,5
Перегорелий аргиллит	686,52	9,90	14,5	5,5
Негорелий алевролит	630,99	152,48	33,96	11,0
Перегорелий алевролит	3849,61	145,34	95,43	2,19
Перегорелий песчаник	118,61	28,29	20,96	8,5
Негорелий уголь	1343,87	218,26	26,53	1,99
Почва, 50 м от террикона	7,99	7,53	2,69	< 0,1 (н. ч. м)*
Почва, 200 м от террикона	10,57	9,12	2,45	< 0,1 (н. ч. м)*

* н. ч. м. – ниже чувствительности метода.

Уменьшение содержания марганца в ацетатно-аммонийном экстракте является несколько иным: перегоревший алевролит (95,43 мг/кг) – негорелый алевролит (33,96 мг/кг) – уголь (26,53 мг/кг) – песчаники (20,96 мг/кг) – негорелий и перегоревший аргиллиты (16,48 и 14,5 мг/кг) (табл. 3). Если сравнивать, то в смеси пород с отвала шахты им. Я. Свердлова (Луганская обл.) концентрация марганца составляет 67,29 мг/кг, в свежей породе 61,76 мг/кг, в выветренной породе 43,78 мг/кг, в перегорелой породе 5,66 мг/кг [32].

Почвы в зоне влияния террикона шахты Визейская содержат марганец, извлекаемый соляно-кислой, вытяжкой в количестве 7,53 мг/кг и 9,12 мг/кг, в ацетат-аммонийной – 2,69 мг/кг и 2,45 мг/кг на расстоянии 50 и 200 м соответственно

В зоне влияния шахты им. Я. Свердлова на расстоянии 100 м от отвала концентрация марганца в ААБР колеблется в пределах 29,55–73,43 мг/кг, у подножия террикона 37,80 мг/кг [32], что значительно превышает установленные нами количества.

Результаты исследования и их обсуждение

Уровень опасности загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Изменчивость содержания водорастворимых форм марганца. Водорастворимые формы тяжелых металлов непосредственно участвуют в круговороте воды, поэтому контроль их распространения очень важен для оценки экологической безопасности территории.

В породах террикона шахты Визейская наибольшая концентрация марганца обнаружена нами в негорелом аргиллите (16,5 мг/кг), меньшая – в негорелом алевролите (11,0 мг/кг), наименьшая – в негорелом угле (1,99 мг/кг). В почвах на расстоянии 50 и 200 м от террикона марганца в водной вытяжке не было обнаружено (табл. 3). При сравнении результатов установлено, что в отвальных шахтных породах Западного Донбасса содержание водорастворимых форм марганца меняется от 0,3 до 100 мг/кг, среднее значение 26,5 мг/кг [33].

Уровень опасности загрязнения окружающей среды определяется концентрацией подвижных форм тяжелых металлов, поскольку они являются биодоступными и, имея высокую миграционную способность, могут загрязнять воды, в том числе питьевого назначения. В то же время концентрация валовых и кислоторастворимых форм тяжелых металлов информирует исследователя о накоплении этих элементов, поскольку в условиях гипергенеза валовые и кислоторастворимые формы со временем могут перейти в подвижные. Большинство данных по содержанию тяжелых металлов в породах и почвах касаются их валовых форм. Учитывая это, важно знать соотношение между концентрациями химических элементов в различных формах, что позволит прогнозировать концентрации подвижных форм элементов, зная их концентрации в валовой форме.

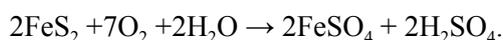
Закономерности изменчивости концентраций разных форм марганца в породах и почвах. Породы отвала шахты Визейская характеризуются очень изменчивыми коэффициентами переходов между различными формами марганца. По отношению к валовой форме коэффициенты концентрации марганца в солянокислом экстракте меняются от 0,014 до 0,242 в породах и от 0,86 до 0,94 в почвах; в ацетатно-аммонийном – от 0,02 до 0,177 в породах и от 0,23 до 0,34 в почвах; в водном экстракте – от 0,0005 до 0,072 в породах (рис. 2).

Наиболее высокими коэффициентами перехода марганца с нативных проб в солянокислый экстракт характеризуются почвы, меньшими – негорелый алевролит, перегорелый песчаник, негорелый уголь и незначительными – перегорелый алевролит и перегорелый аргиллит; в ацетатно-аммонийном экстракте вытяжки наибольшими показателями характеризуются почвы и песчаник, наименьшими – аргиллиты, алевролиты, и негорелый уголь; в водном экстракте самыми высокими коэффициентами перехода характеризуется песчаник, меньшими – негорелый аргиллит, незначительными – перегорелый аргиллит, алевролит и негорелый уголь.

Следует отметить, что в почве, с удалением от террикона, содержание валовой кислоторастворенной формы марганца увеличивается. Это может происходить вследствие высокой миграционной способности этого металла в восстановительной среде, которая должна формироваться на участках интенсивного окисления органических соединений, а также фиксации марганца при переходе восстановительной обстановки в окислительную.

Основным источником образования подвижной формы Mn^{2+} может быть взаимодействие ферум (II) сульфата и пиролюзита, которая проходит следующие стадии:

I стадия. Суммарное уравнение многостадийного процесса преобразования пирита (ферум (II) персульфид) в ферум (II) сульфат:



II стадия. Взаимодействие при повышенных температурах $FeSO_4$ с пиролюзитом (важнейшей руды марганца), который является спутником залежей железных и медных руд:



III стадии. Диссоциация $MnSO_4$ – соль хорошо растворимая, потому мигрирует с террикона в грунты и водные объекты:



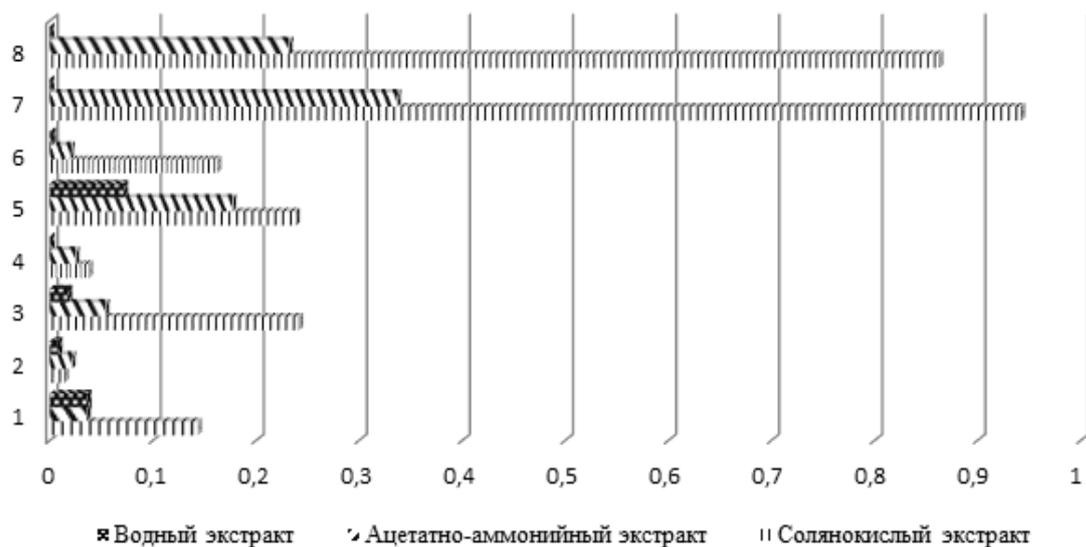


Рис. 2. Коэффициенты концентрации марганца в солянокислой, ацетатно-аммонийной и водной вытяжках относительно валовой формы: 1 – негорелый аргиллит, 2 – перегорелый аргиллит, 3 – негорелый алевролит, 4 – перегорелый алевролит, 5 – перегоревший песчаник, 6 – негорелый уголь, 7 – почва на расстоянии 50 м от террикона, 8 – почва на расстоянии 200 м от террикона

Fig. 2. Coefficients of manganese concentration in hydrochloric acid, acetate-ammonium and aqueous extracts relative to the total form: 1 – unburnt mudstone, 2 – burnt argillite, 3 – unburnt siltstone, 4 – burnt siltstone, 5 – burnt sandstone, 6 – unburnt coal, 7 – soil at a distance of 50 m from the waste heaps, 8 – soil at a distance of 200 m from the waste heaps

Закономерности изменений концентраций марганца вследствие термического выветривания пород. По данным [15], горелые породы террикона шахты Визейская по сравнению с негорелыми, концентрируют марганец в валовой форме с коэффициентом 2,15. Что касается других шахт, то перегоревшие породы террикона шахты Межиричанская концентрируют марганец с коэффициентом 0,7, то есть при горении пород установлено уменьшение концентрации этого элемента [29].

Исходя из результатов наших исследований, горелые аргиллиты и алевролиты террикона шахты Визейская по сравнению с их негорелыми аналогами, характеризуются более высоким содержанием валовых форм марганца, чем их негорелые аналоги, но иные формы этого элемента изменяют свою концентрацию вследствие горения пород преимущественно противоположно (рис. 3).

Следует отметить, что увеличение концентрации валовых форм марганца в перегорелых породах растет с увеличением гранулометрического состава. Также с увеличением их гранулометрического состава пород возрастает интенсивность уменьшения водорастворимых концентраций марганца в перегорелых породах.

Увеличение валовых концентраций марганца в перегорелых породах в сравнении с негорелыми можно объяснить концентрированием минерального скелета породы вследствие выгорания ее органической части. Подвижные формы, особенно водорастворимые, извлекаются из пород в процессе горения, поэтому их концентрация в перегорелых породах значительно меньше.

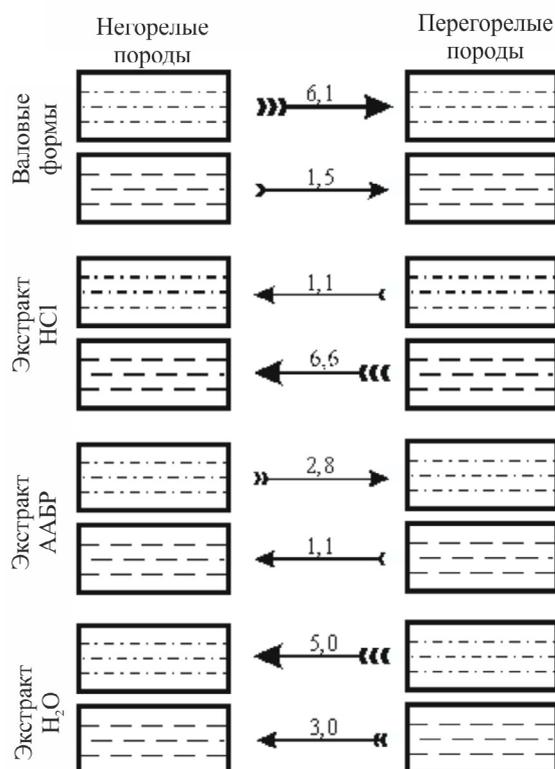


Рис. 3. Характеристика изменений концентрации марганца в негорелых и перегорелых породах террикона шахты Визейская: 1 – алевролит, 2 – аргиллит; стрелками показано направление роста концентрации, цифрами – коэффициенты концентрации

Fig. 3. Characteristic of the changes in the concentration of manganese in the unburnt and burnt rocks of the Vizeyka mine waste heaps: 1 – siltstone; 2 – argillite, arrows indicate the direction of concentration growth, in figures – concentration coefficients

Заключение

Таким образом, шахта Визейская относится к Львовско-Волынскому каменноугольному бассейну, породы ее террикона представлены горелыми и негорелыми аргиллитами, алевролитами, песчаниками, углем в соотношении 55: 25: 15: 2.

Содержание валовых форм марганца в породах терриконов шахты Визейская изменяется от 118,61 мг/кг до 3849,61 мг/кг и в среднем составляет 1181,14 мг/кг. Наибольшие содержания марганца обнаружены нами в алевролитах, наименьшие – в песчаниках. В почвах, отобранных в зоне влияния террикона, содержание валовых форм марганца составляет 7,99 мг/кг на расстоянии 50 м и 10,57 мг/кг на расстоянии 200 м от террикона.

Коэффициенты концентрации марганца в негорелых разновидностях пород относительно кларка в осадочных породах убывают в ряду: уголь – алевролит – аргиллит; в перегорелых образцах: алевролит – аргиллит – песчаник.

В кислоторастворимом экстракте уменьшение концентрация марганца происходит в ряду: негорелый уголь – негорелый и перегорелый алевролит – негорелый аргиллит – песчаник – перегорелый аргиллит. Уменьшение содержания марганца в ацетатно-аммонийном экстракте происходит в иной последовательности: перегорелый и негорелый алевролит – уголь – песчаники – негорелый и перегорелый аргиллит. В водном экстракте концентрации марганца убывают в ряду: негорелый аргиллит – негорелый алевролит – песчаник – перегорелый аргиллит – перегорелый алевролит. По отношению к валовой форме коэффициенты концентрации марганца в солянокислом экстракте меняются от 0,014 до 0,239 в породах и от 0,86 до 0,94 в почвах; в ацетатно-аммонийном – от 0,020 до 0,177 в породах и от 0,23 до 0,34 в почвах, в водном экстракте от 0,0005 до 0,072 в породах. Увеличение концентрации валовых форм марганца в перегорелых породах растет с интенсивностью гранулометрического состава пород. Также с увеличением гранулометрического состава пород возрастает интенсивность уменьшения водорастворимых концентраций марганца в перегорелых породах.

Концентрации различных форм марганца в исследованных породах и почвах не превышают региональные кларки. В этом аспекте они не могут отрицательно влиять на экологическое состояние окружающей среды, а породы могут использоваться в строительстве. В то же время острый недостаток марганца негативно влияет на состояние живых компонентов биосферы и способен вызывать эндемические заболевания.

Библіографіческие ссылки

1. *Войткевич Г. В., Мирошников А. Е., Поваренных А. С. и др.* Краткий справочник по геохимии. М., 1977.
2. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989.
3. *Бетехтин А. Г.* Курс минералогии. М., 1951.
4. *Алексеенко В. А., Алексеенко А. В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов на Дону, 2013.
5. *Патика В. П., Тараріко О. Г.* Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К., 2002.
6. *Гамкало З. Г.* Рухомі форми Fe, Mn, Ni, Cu у сірому лісовому ґрунті пасовищної екосистеми залежно від удобрення. Україна та глобальні процеси: географ. вимір: зб. наук. праць. в 4-х т. К., 2001. Т. 44. С. 16–20.
7. *Аристовская Т. В.* Микробиология процессов почвообразования. М., 1980.
8. *Катальмов М. В.* Микроэлементы и микроудобрения. М., 1965.
9. *Marschner H.* *Mineral Nutrition in Higher Plants.* San Diego, 1995.
10. *Манская С. М., Дроздова Т. В.* Геохимия органического вещества М., 1964.
11. *Laing, W., Greer, D., Sun, O., et al.* Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: growth and photosynthesis. *New Phytol.* 2000. № 146.
12. *Юдович Я. Э.* Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург, 2005.
13. *Попович В. В.* Снижение техногенного пресинга полиэлементных аномалий девастированных ландшафтов путем фитомелиоративного восстановления / В.В. Попович // Біологічний вісник МДПУ. 2016. № 1. С. 94–114.
14. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (ПДК), утв. МЗ СССР от 01.02.85. –№ 3210–85
15. *Книш І. Б.* Геохімія мікроелементів у породах терикона шахти Візейська Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну // Вісник Львівського університету. Сер.: геологічна, 2008. Вип 22. С. 58–71.
16. Интерактивна карта родовищ корисних копалин. [Електронний ресурс]. URL: <http://geoinf.kiev.ua/wp/interaktyvna-karta-rodovyshch-koqynnykh-kopalyn.htm> (дата обращения: 10.11.2017).
17. *Лисиченко Г. В.* Проблеми хімічної та радіаційної безпеки України // Вісн. НАН України. 2015. № 6. С. 20–27.
18. *Лисиченко Г. В.* Концептуальні засади створення експертної аналітично-інформаційної підсистеми аналізу ризиків державної системи моніторингу довкілля // Моделювання та інформаційні технології. 2009. Вип. 50. С. 71–77.
19. *Лисиченко Г. В., Забулонов Ю. Л., Хміль Г. А.* Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. К., 2008.
20. *Рудько Г. І., Бондар О. І., Яковлев С. О. та ін.* Екологічна безпека вугільних родовищ України. Київ–Чернівці, 2016.
21. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 2-е изд., перераб. и доп.). М., 1992.
22. *Бобрик Н. Ю.* Поширення та акумуляція важких металів у ґрунтах приазічних територій // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2015. № 23(2). С. 183–189. DOI:10.15421/011526.
23. *Del Castilho P. & Rix I.* (1993). Ammonium Acetate Extraction for Soil Heavy Metal Speciation; Model Aided Soil Test Interpretation, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 51:1-4, 59-64, DOI: 10.1080/03067319308027611.
24. *Билина Л. В.* Вміст рухомих форм міді у ґрунтах Бердичівського району // Біологічні дослідження. Збірник наукових праць. Житомир, 2016. С. 335–336.
25. *Войціховська А. С.* Експериментальні дослідження рухомих та кислоторозчинних форм важких металів у ґрунтах у зоні впливу Львівського полігону твердих побутових відходів // Вісник ЧДТУ. 2013. № 1. С. 96–99.
26. *Войціховська А. С.* Поширення різних за рухомістю форм цинку у ґрунтах у зоні техногенезу сміттєзвалищ // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-геологічна. 2013. № 2 (19). С. 3–9.
27. *Loza Iryna, Kul'bachko Yurii, Didur Oleg, Kryuchkova Angelina.* Environmental Role of Earthworm (*Lumbricidae*) in Formation of Soil Buffering Capacity Against Copper Contamination in Remediated Soil, Steppe Zone of Ukraine. Chapter 14. P. 277–287 <http://dx.doi.org/10.5772/64722> // *Soil Contamination – Current Consequences and Further Solutions*. Edited by Marcelo L. Larramendy and Sonia Soloneski, Publisher: InTech, 2016. 354 pages. DOI: 10.5772/62589.
28. *Самохвалова В.* Еколого-геохімічна оцінка фонового рівня вмісту різних форм мікроелементів ґрунту // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2011. Вип. 55. С. 125–133.
29. *Книш І. Б.* Геохімія мікроелементів у породах терикону копальні Межирічанська Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну // Геологія і геохімія горючих копалин. 2010. № 3–4 (152–153). С. 85–101.
30. *Knysh I., Karabyn V.* Heavy metals distribution in the waste pile rocks of Chervonogradska mine of the Lviv-Volyn coal basin (Ukraine) // *Pollution Research J.* 2014. Vol 33, issue 4, P. 663–670.
31. *Терещук О.* Вплив відвалів гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району // Вісник Львівського університету. Сер. Географічна. 2007. Вип. 34. С. 279–285.
32. *Коваленко А. А.* Дослідження міграційної активності важких металів на територіях розміщення породних відвалів // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2013. № 40. С. 167–173.
33. Пат. 55027 Україна МПК G01N 33/24 G01N 33/18. Спосіб визначення класу небезпеки твердих відходів гірничодобувної промисловості / Г. А. Кроїк, В. А. Білецька, Н. С. Ячечко, В. І. Демура; власник Дніпропетровський Національний університет імені Олеся Гончара. – № u200909965 ; заявл. 30.09.2009 ; опублік. 10.12.2010, Бюл. № 23.

References

1. Voitkevich T. V., Miroshnikov A. E., Povarennykh A. S. [Brief handbook of Geochemistry]. Moscow, 1977 (in Russ.).
2. Kabata-Pendias A., Pendias H. [Microelements in soils and plants]. Moscow, 1989 (in Russ.).
3. Betekhtin A. G. [A course of Mineralogy]. Moscow, 1951 (in Russ.).
4. Alexeenko V. A., Alexeenko A. V. [Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of residential landscapes]. Rostov-na-Donu, 2013 (in Russ.).
5. Palyka V. P., Tarariko O. H. Ahroekolohichnyy monitorynh ta pasportyzatsiya sil's'kohospodars'kykh zemel'. K., 2002 (in Ukrainian).
6. Hamkalo Z. H. Rukhomi formy Fe, Mn, Ni, Cu u siromu lisovomu hruntі pasovyshchnoyi ekosystemy zalezno vid udobrennya. Ukrayina ta hlobal'ni protsesy: heohraf. vymir: zb. nauk. prats'. V 4-kh t. Kyev, 2001. T. 44. S. 16–20 (in Ukrainian).
7. Aristovskaya T. V. [Microbiology of soil formation processes]. Moscow, 1980 (in Russ.).
8. Kotalymov M. V. [Microelements and micronutrients]. Moscow, 1965 (in Russ.).
9. Marschner H. Mineral Nutrition in Higher Plants. San Diego, 1995.
10. Manskaya S. M., Drozdova T. V. [Geochemistry of organic substances]. Moscow, 1964 (in Russ.).
11. Laing W., Greer D., Sun O., et al. (2000). Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: growth and photosynthesis. *New Phytol.* 2000. No. 146. P. 47–57.
12. Yudovich Ya. E. [Toxic accompanying elements of fossil coal]. Ekaterinburg, 2005 (in Russ.).
13. Popovych V. V. Cnyzhenye tekhnohennoho presynha polyelementnykh anomalyy devastyrovannykh landshaftov putem fytomelyoratyvnoho vosstanovlennya. *Biolozhichnyy visnyk MDPU.* 2016. No. 1. S. 94–114.
14. [Maximum permissible concentrations of chemical substances in soils (MPC), approved by the Ministry of Health of the USSR No. 3210-85 dated February 01, 1985] (in Russ.).
15. Knysh I. B. Heokhimiya mikroelementiv u porodakh terykona shakhty Vizeys'ka L'vivs'ko-Volyns'koho kam'yanovuhil'noho baseynu. *Visnyk L'vivs'koho universytetu.* Ser. Heolohichna. 2008. Vyp. 22. S. 58–71.
16. Interaktyvna karta rodovyschch korysnykh kopalyn. URL: <http://geoinf.kiev.ua/wp/interaktyvna-karta-rodovyschch-korysnykh-kopalyn.htm> (date of access: 10.11.2017).
17. Lysyuchenko H. V. Problemy khimichnoyi ta radiatsiyanoi bezpeky Ukrayiny. *Visnyk NAN Ukrayiny.* 2015. No. 6. P. 20–27.
18. Lysyuchenko H. V., Khmil' H. A. Kontseptual'ni zasady stvorennya ekspertnoyianalitychno-informatsiyanoi pidsystemy analizu ryzykiv derzhavnoyi systemy monitorynhu dovkillya. *Modelyuvannya ta informatsiyeni tekhnolohiyi.* 2009. Vyp. 50. S. 71–77.
19. Lysyuchenko H. V., Zabulonov YU. L., Khmil' H. A. Pryrodnyy, tekhnohennyy ta ekolohichnyy ryzyky: analiz, otsinka, upravlinnya. Kyev, 2008.
20. Rud'ko H. I., Bondar O. I., Yakovlyev YE. O. ta in. Ekolohichna bezpeka vuhil'nykh rodovyschch Ukrayiny. Kyiv, 2016.
21. [Methodological manuals of heavy metals detection in soils of agricultural areas and crop production], 2nd edition, revised and updated]. Moscow, 1992 (in Russ.).
22. Bobryk N. YU. Poshyrennya ta akumulyatsiya vazhkykh metaliv u gruntakh pryvaliznychnykh terytoriy. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu. Bioloziya, ekolohiya.* 2015. № 23(2). S. 183–189. DOI:10.15421/011526.
23. Del Castillo P. & Rix I. (1993). Ammonium Acetate Extraction for Soil Heavy Metal Speciation; Model Aided Soil Test Interpretation, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 51:1-4, 59-64, DOI: 10.1080/03067319308027611.
24. Bylyna L. V. Vmist rukhomykh form midu u gruntakh Berdychivs'koho rayonu. *Biolozhichni doslidzhennya. Zbirnyk naukovykh prats'.* Zhytomyr, 2016. S. 335–336 (in Ukrainian).
25. Voytsikhovs'ka A. S. Eksperymental'ni doslidzhennya rukhomykh ta kyslotorozchynnykh form vazhkykh metaliv u gruntakh u zoni vplyvu L'vivs'koho polihonu tverdykh pobutovykh vidkhodiv. *Visnyk CHDTU.* 2013. No. 1. S. 96–99 (in Ukrainian).
26. Voytsikhovs'ka A. S. Poshyrennya riznykh za rukhomisty form tsynku u gruntakh u zoni tekhnohenezu smittyevzalyschch. *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya hirnycho-heolohichna.* 2013. No. 2 (19). S. 3–9.
27. Loza Iryna, Kul'bachko Yurii, Didur Oleg, et al. Environmental Role of Earthworm (Lumbricidae) in Formation of Soil Buffering Capacity Against Copper Contamination in Remediated Soil, Steppe Zone of Ukraine. Chapter 14. P. 277–287 URL: <http://dx.doi.org/10.5772/64722> // Soil Contamination Current Consequences and Further Solutions. Edited by Marcelo L. Larramendy and Sonia Soloneski, Publisher: InTech, 2016. 354 pages. DOI: 10.5772/62589
28. Samokhvalova V. Ekoloho-heokhimichna otsinka fonovoho rivnya vmistu riznykh form mikroelementiv gruntu. *Visnyk L'vivs'koho universytetu. Seriya biolozhichna.* 2011. Vyp. 55. S. 125–133.
29. Knysh I. B. Heokhimiya mikroelementiv u porodakh terykonu kopal'ni Mezhyrichans'ka L'vivs'ko-Volyns'koho kam'yanovuhil'noho baseynu. *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn.* 2010. No. 3–4 (152–153). S. 85–101 (in Ukrainian).
30. Knysh I., Karabyn V. Heavy metals distribution in the waste pile rocks of Chervonogradska mine of the Lviv-Volyn coal basin (Ukraine). *Pollution Research J.* 2014. Vol 33, issue 4, P. 663–670.
31. Tereshchuk O. Vplyv vidvaliv hirnychodobuvnoyi promyslovosti na navkolyshnye seredovyschche Novovolyns'koho hirnychopromyslovoho rayonu. *Visnyk L'vivs'koho universytetu. Ser. Heohrafichna.* 2007. Vyp. 34. S. 279–285 (in Ukrainian).
32. Kovalenko A. A. Doslidzhennya mihratsiyanoi aktyvnosti vazhkykh metaliv na terytoriyakh rozmishchennya porodnykh vidvaliv. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho hirnychoho universytetu.* 2013. No. 40. S. 167–173 (in Ukrainian).
33. Pat. 55027 Ukrayina MPK G01N 33/24 G01N 33/18. Sposib vyznachennya klasu nebezpeky tverdykh vidkhodiv hirnychodobuvnoyi promyslovosti / H. A. Kroyik, V. A. Bilets'ka, N. YE. Yatsechko, V. I. Demura; vlasnyk Dnipropetrovs'kyy Natsional'nyy universytet imeni Olesya Honchara. № u200909965 ; zayavl. 30.09.2009 ; opublik. 10.12.2010, Byul. No. 23.

Статья поступила в редколлегию 21.11.2017
Received by editorial board 21.11.2017

УДК 504.06:699.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА, ПОСТРОЕННОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. В. КРЕСОВА¹⁾, Д. Ю. КУЖЕЛКО¹⁾, С. П. КУНДАС²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, Минск, Беларусь

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

Исследуется эффективность применения новых теплоизоляционных материалов при их использовании в многослойных конструкциях. Обращается внимание на применение местных экологически чистых материалов для индивидуального строительства в соответствии с направлениями устойчивого развития, что поможет снизить в условиях Беларуси стоимость строительства жилья, потребление энергии и выбросы парниковых газов. Приводится анализ эффективности использования местных изоляционных материалов методами компьютерного моделирования и экспериментальных исследований. Численные 3D модели были разработаны с помощью программных пакетов SolidWorks и COMSOL Multiphysics. Для анализа эффективности тепловой изоляции местных экологически чистых материалов проводились экспериментальные тепловизионные исследования для домов каркасного типа со следующими ограждающими конструкциями: 1) тростник; 2) тростник и глина + солома; 3) тростник + эковата + льняные волокна; 4) кирпич (в качестве референтного материала). Полученные в результате измерения и численный расчет показали большую эффективность использования исследуемых материалов для изоляции, по сравнению с традиционным кирпичом.

Ключевые слова: местные экологически чистые теплоизоляционные материалы; строительство; энергоэффективность; численные и экспериментальные исследования.

STUDY OF THE HEAT LOSS OF AN INDIVIDUAL HOUSE BUILT WITH THE USE OF LOCAL THERMAL INSULATION MATERIALS

A. V. KRESAVA^a, D. YU. KUZHELKA^a, S. P. KUNDAS^b

^aBelarusian State University, International Sakharov Environmental Institute,
Dolgobrodskaya street, 23/1, 220070, Minsk, Belarus

^bBelarusian National Technical University, Nezavisimosty avenue, 65, 220013, Minsk, Belarus

Corresponding author: elena-kresova@mail.ru

Образец цитирования:

Кресова Е. В., Кужелко Д. Ю., Кундас С. П. Исследование теплопотерь индивидуального жилого дома, построенного с применением местных теплоизоляционных материалов // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 92–99.

For citation:

Kresava A. V., Kuzhelka D. Yu., Kundas S. P. Study of the heat loss of an individual house built with the use of local thermal insulation materials. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 92–99 (in Russ.).

Автор:

Елена Владимировна Кресова – старший преподаватель кафедры энергоэффективных технологий.

Дмитрий Юрьевич Кужелко – студент кафедры энергоэффективных технологий.

Семен Петрович Кундас – доктор технических наук; профессор кафедры профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

Author:

Alena V. Kresava, senior lecturer of the department of energy efficient technologies.

elena-kresova@mail.ru

Dzmitrij Yu. Kuzhelka, student of the department of energy efficient technologies.

kuzhelko.dmitry@yandex.ru

Sjамjon P. Kundas, doctor of sciences (engineering); professor of the department of heat and gas supply and air-conditioning.

kundas@tut.by

Application of new insulating materials requires research for their efficiency, especially if these materials are used in multilayer structures. This work was focused on the study of environmentally friendly local materials for individual building insulation, under the directions of local community's sustainable development. This was done to help decrease housing construction cost, energy consumption and greenhouse gas emissions, and is currently under development in Belarus. The aim of this work is to analyze the efficiency of local insulating material usage with the use of computer simulation methods. Numerical 3D models were developed in the software packages using SolidWorks and COMSOL Multiphysics. Experimental thermography measurements were also completed for insulating efficiency analysis of local environmental friendly material. Numerical analysis and thermographic measurement was performed for framework type homes with the following thermal insulation envelopes: 1) reed; 2) reed and clay + straw; 3) reed + ecowool + flax fibers; 4) brick (as reference material). The resulting measurements and numerical calculation had shown the effectiveness of using these materials for insulation in comparison with traditional brick constructions.

Key words: Local Environmental Friendly Insulating Materials; Building; Energy Efficiency, Numerical and Experimental Study.

Введение

Экологическое строительство сегодня – важная составляющая устойчивого развития Республики Беларусь. Понятие «зеленое строительство» включает совокупность мер, ориентированных на снижение уровня потребления природных ресурсов при проектировании, строительстве, эксплуатации новых зданий и реконструкции ветхих, мер, направленных на повышение комфорта внутренней среды зданий. Экостроительство представляет собой многосложный комплексный подход ко всему строительному и проектному процессу [1]. Сегодня за этим определением стоит кардинальное изменение подхода ко всему строительному и проектному процессу, которое стало возможным благодаря появлению инновационных (высоких) технологий [2].

В Республике Беларусь направление экологически чистого индивидуального строительства начало развивать Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоДом» [4]. По технологии этой организации были построены индивидуальные дома в д. Стаховцы Мядельского р-на Минской обл. и в д. Старый Лепель Лепельского р-на Витебской обл. В настоящее время наиболее активно на рынке страны продвигает это направление частное производственное унитарное предприятие «ЭкоСтроитель» [3; 5].

Применение новых теплоизоляционных материалов требует проведения исследований их эффективности, особенно, если указанные материалы используются в многослойных конструкциях. Перспективным направлением решения указанной задачи является компьютерное моделирование [1]. Современные коммерческие программные комплексы соответствующего назначения чаще всего невозможно применить для указанных целей без их адаптации и доработки. Поэтому цель настоящей работы – создание моделей, описывающих тепловые характеристики исследуемого дома, с возможностью их практического использования в среде программного комплекса COMSOL Multiphysics и проведение с их помощью исследований эффективности применения местных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях.

Характеристика объекта моделирования

В качестве объекта исследований выбран дом, расположенный в г. Минске по адресу пер. Бумажкова, 4 (рис. 1, 2), который был реконструирован фирмой «ЭкоСтроитель». Как следует из рис. 1–3, старая деревянная конструкция стен была заменена на каркасную с применением в качестве теплоизоляционных материалов тростника, эковаты и утеплителя из льняных волокон.

Теплофизические характеристики применяемых теплоизоляционных и конструкционных материалов приведены в табл. 1. Рассчитанное сопротивление теплопередаче стены составило $R_t = 7,58 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$, что значительно превышает нормативное значение – $3,2 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ [6]. Для сравнения: сопротивление теплопередаче бревенчатых стен дома до реконструкции составляло $R_t = 1,44 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$.

Использование в качестве теплоизоляционного материала тростниковых плит обеспечивает ряд преимуществ:

- При изготовлении тростниковых плит не используются вредные для здоровья химические вещества.
- Изготовление плит не требует больших затрат энергии. Энергия тратится в основном на их транспортировку.
- Шероховатая поверхность плит обеспечивает хорошую основу под глиняную штукатурку.

• Плиты являются эффективным теплоизоляционным материалом: зимой они удерживают тепло, а летом охлаждают воздух. Утеплитель задерживает поступление тепла из атмосферного воздуха в стену, понижая тем самым ее температуру [7].

«Эковата» как теплоизоляционный материал характеризуется высокими практическими свойствами, экологической чистотой, относительно низкой стоимостью, биологической устойчивостью (не гниет, не плесневеет, не заводятся грызуны и насекомые), простотой использования, возможностью получения бесшовного слоя. Теплоизоляция из эковаты хорошо пропускает воздух, стены «дышат» [1].



Рис. 1. Общий вид дома до и после модернизации

Fig. 1. General view of the house before and after modernization

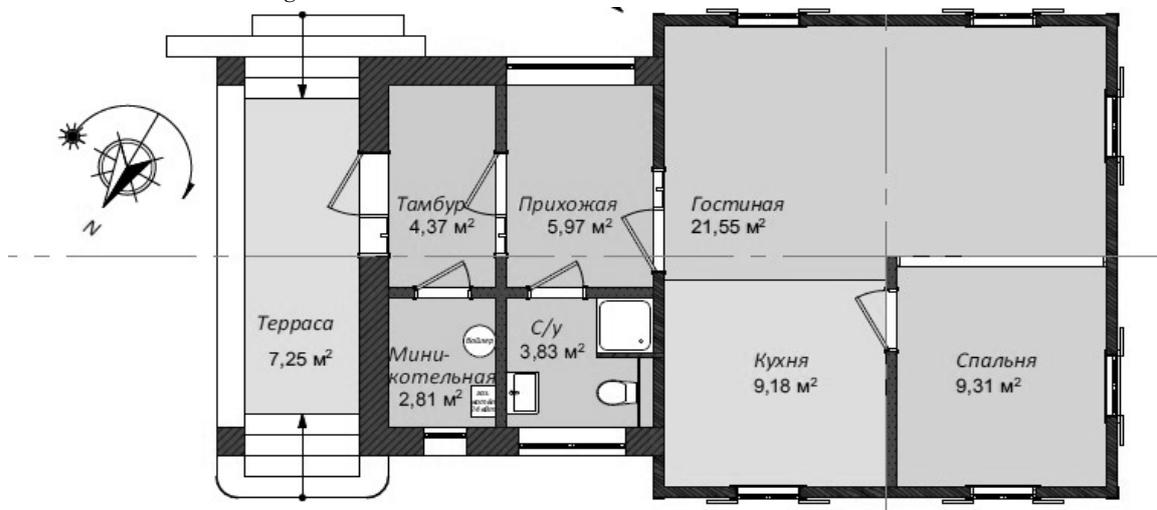


Рис. 2. Планировка дома после модернизации

Fig. 2. House plan after modernization

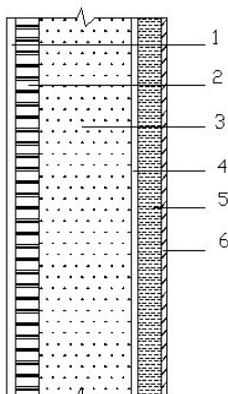


Рис. 3. Конструкция стен дома: 1 – штукатурка – 20 мм; 2 – утеплитель тростниковый – 50 мм; 3 – каркасная система стены – 200 мм, стеновое утепление – 200 мм эковаты; 4 – OSB-плита – 15 мм; 5 – утеплитель из льняных волокон – 50 мм; 6 – ГКЛ (гипсокартон) – 12,5 мм

Fig. 3. Construction of wall: 1 – clay plaster; 2 – reed plate – 50 mm; 3 – frame wall system – 200 mm, wall insulation – 200 mm «Ecowool»; 4 – OSB-plate – 15 mm; 5 – linen fibers insulation – 50 mm; 6 – GKL (gypsum board) – 12,5 mm

Характеристики теплоизоляционных и конструкционных материалов

Table 1

Technical characteristics of building envelope

Материал	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м °С	Теплоемкость, с, Дж/кг °С	Плотность, ρ , кг/м ³
Штукатурка	0,58	840	1800
Тростник	0,067	2300	120
Эковата	0,038	2100	40
OSB-плита	0,35	2300	600
Утеплитель из льняных волокон	0,04	1600	30
ГКЛ	0,15	840	800

Конструкция фундамента и кровли:

Фундамент (толщина слоев):

- Штукатурка – 20 мм.
- Пенополистирол – 50 мм.
- Гидроизоляционный слой.
- Фундамент 250–300 мм.

Кровля:

- Фальцевая кровля – 28 мм.
- Подкладочный ковер.
- Обрешетка сплошная из доски – 25 мм.
- Контробрешетка – 500 мм (воздушная прослойка).
- Гидро-, ветрозащита.
- Стропильная система 250 мм, кровельный утеплитель 250 мм – эковата.
- Внутренняя обрешетка 50 мм, кровельный утеплитель 50 мм – эковата.
- OSB-плита – 15 мм.
- ГКЛ – 12,5 мм.

Результаты численного анализа динамики охлаждения дома

Для проведения исследований на основе модели теплопереноса, разработаны конструктивная, конечно-элементная и расчетно-аналитические модели, которые практически реализованы в программных комплексах SolidWorks и COMSOL Multiphysics [8; 9].

Для упрощения модели было определено, какой процент занимают деревянные стойки каркаса от всего объема ограждающей конструкции. Вычисления показали, что эта величина составляет примерно 4 %. Это доказывает на незначительное влияние стоек на тепловое сопротивление ограждающих конструкций и позволяет не учитывать их при моделировании [10].

Предварительные численные исследования разработанных моделей показали, что для проведения расчетов всего дома требуется применения специальной высокопроизводительной вычислительной техники. Поэтому в рамках настоящей работы расчет изменения температуры был выполнен на суперкомпьютере «СКИФ» ОИПИ Национальной академии наук Беларуси.

Начальная температура воздуха в помещении (во всем объеме) задавалась равной 22 °С, стен и окон – 18 °С. Температура на внешней стороне ограждающей конструкции принималась равной изменению температуры атмосферного воздуха в течение всего периода моделирования (неделя). В модели были учтены теплообмен с окружающей средой и конвекция воздуха в помещении. Как следует из рис. 4, в течение недели температура внутри дома снижается с 22 до 12 °С. При этом относительно интенсивное охлаждение дома имеет место в первые трое суток и преимущественно в ночное время при более низкой температуре окружающей среды (большее значение разности температур).

Как видно из результатов 3-D моделирования [11], распределения температуры (рис. 4) в доме после 2-х суток более интенсивное снижение температуры наблюдается вблизи окон и нижней части дома, что закономерно и связано с меньшим тепловым сопротивлением этих конструкций, а также естественной

тепловой конвекцией (теплый воздух локализуется в верхней части дома). После трех суток градиент температуры внутри дома уменьшается.

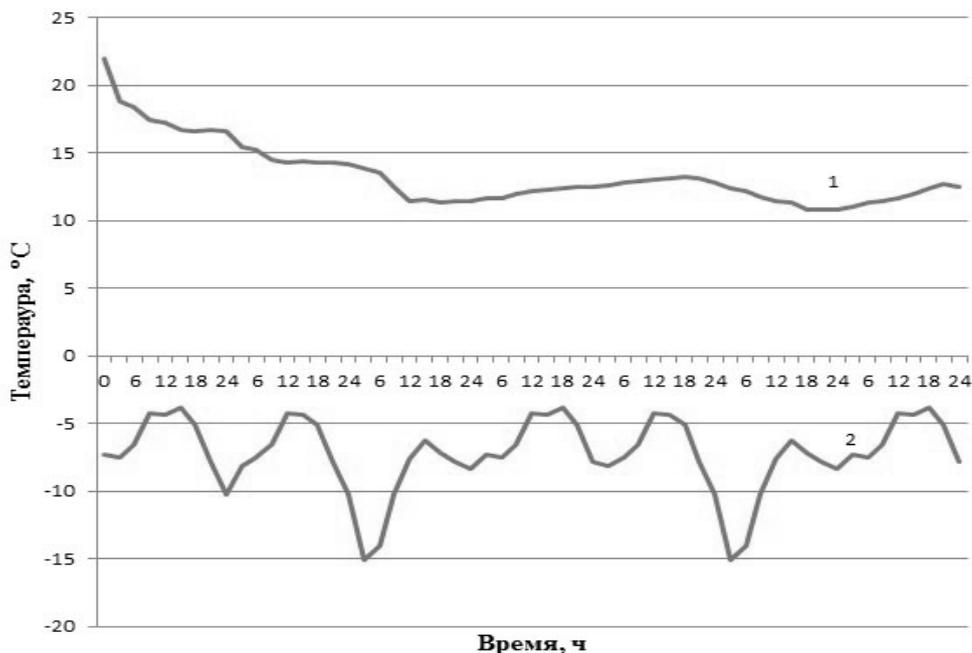


Рис. 4. Результаты моделирования динамики естественного охлаждения дома:
1 – температура в помещении; 2 – температура атмосферного воздуха

Fig. 4. Results modeling of outside and inside temperature changes: 1 – air temperature inside the house; 2 – outdoor temperature

Для подтверждения эффективности теплоизоляционных свойств использованных материалов и конструктивных решений проведен сравнительный численный анализ динамики охлаждения аналогичных по размерам и конструкции домов, построенных фирмой «Экостроитель», в которых в качестве теплоизоляционных материалов применен только тростник (400 мм), тростник и глина+солома (100 мм + 300 мм), а также традиционный кирпич (400 мм). Как видно из рис. 5, даже при меньшей толщине теплоизоляционного слоя, конструкция дома с утеплителем на основе «Эковаты» обеспечивает наибольшую степень теплоизоляции. Как и следовало ожидать, наибольшие теплопотери имеет традиционный кирпичный дом.

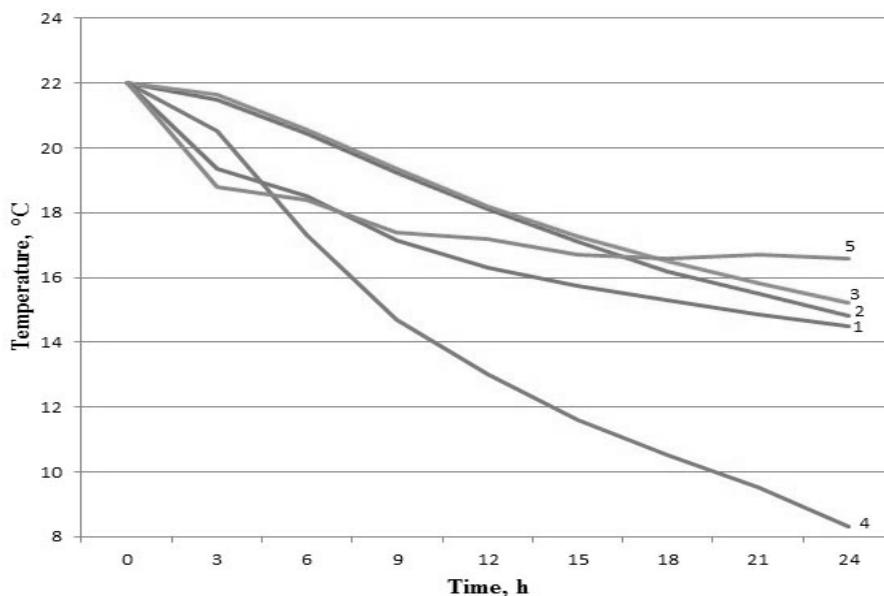


Рис. 5. Результаты сравнительных численных исследований динамики охлаждения в течение суток домов с различными вариантами утепления: 1 – эксперимент, 2 – тростник, 3 – глина + солома + тростник, 4 – кирпич, 5 – эковата

Fig. 5. Results of comparative simulation of houses cooling: 1 – experiment, 2 – reed, 3 – clay + straw + reed, 4 – brick, 5 – ecowool

Для оценки погрешности результатов моделирования на рис. 5 приведены также показатели экспериментальных измерений динамики охлаждения дома с теплоизоляцией с помощью тростниковых плит и с заполнением стен смесью глина + солома (100 мм + 300 мм). Измерения осуществлялись с помощью электронного термометра testo 405-V1. Видно, что погрешность моделирования не превышает 15 % и имеет большую величину на начальной стадии охлаждения.

Определение удельного расхода тепловой энергии на отопление здания

Для решения одной из задач по повышению эффективности дома был проведен расчет сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций здания. Значения для него брались из проектной документации.

Расчет сопротивления теплопередаче произведем для трех вариантов исполнения здания:

1) базовый вариант. Наружные ограждающие конструкции в жилом здании выполнены из деревянного сруба.

2) проектный вариант № 1. Основным теплоизоляционным слоем является заполнение целлюлозным утеплителем «Эковата» плюс плиты из тростника по СТБ 1868 – 2008.

3) проектный вариант № 2. Основным теплоизоляционным слоем является заполнение глина + щепа + плиты из тростника по СТБ 1868 – 2008.

Результаты расхода тепловой энергии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Данные расчета расхода тепловой энергии в различных вариантах исполнения здания

Table 2

Calculation data for heat consumption in various building designs

Наименование величины	Размерность	Вариант исполнения		
		1	2	3
Градусо-сутки отопительного периода, D_d	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$	4138,2		
Средняя плотность наружного воздуха за отопительный период, ρ_a^{ht}	$\text{кг}/\text{м}^3$	1,25		
Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, n_a	ч^{-1}	0,24		
Приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, K_m^{tr}	$\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$	0,61	0,20	0,23
Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплотери за счет инфильтрации и вентиляции, K_m^{int}	$\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$	0,05		
Общий приведенный коэффициент теплопередачи здания, K_m	$\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$	0,66	0,25	0,28
Общие теплотери здания за отопительный период, Q_h	МДж	55444,1	20974,8	24281,2
Бытовые теплопоступления в течение отопительного периода, Q_{int}	МДж	5919,9		
Расход тепловой энергии на отопление здания, Q_h^y	МДж	52901,6	16708,9	19687,6

По результатам расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление здания был определен класс энергетической эффективности для каждого из вариантов исполнения дома (согласно Изменению №3 ТКП 45-2.04-196-2010 (02250)). Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Классификация жилых зданий по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде

Table 3

Classification of residential buildings according to the specific heat consumption for heating and ventilation in the heating season

Наименование характеристики	Размерность	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания в отопительном периоде q_h^{des}	МДж/м ²	882	279	328
	кВт·ч/м ²	245	77	91
Нормативное значение удельного расхода для класса	МДж/м ²	832 и более	234–328	234–328
	кВт·ч/м ²	231 и более	65–91	65–91
Класс по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания в отопительный период	–	Класс G	Класс B	Класс B

Расчеты свидетельствуют, что использование таких изоляционных материалов, как плиты ТСТ, целлюлозный утеплитель «Эковата», утеплитель из льняных волокон и заполнение в виде глины со щепой являются технически целесообразными для строительства каркасных домов. Такие материалы позволяют строить здания с хорошими показателями удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию (согласно ТКП 45-2.04-196-2010 (02250)).

В работе также был сделан расчет снижения выбросов в окружающую среду после внедрения проектных решений. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов снижения выбросов в окружающую среду после внедрения проектных решений

Table 4

Results of calculations of reduce emissions to the environment after implementation of project solutions

Наименование показателя	Обозначение/единицы измерения	Базовый вариант	Проектный вариант № 1	Проектный вариант № 2
Расход тепловой энергии системой теплоснабжения	$Q_{отоп}^{год}$, ГДж	47,9	16,7	19,7
Снижение потребления общих энергетических единиц	ΔE^{te} , ГДж/год	–	31,2	28,3
Снижение выбросов метана	M_{CH_4} , т/год	–	0,000156	0,000141
Снижение выбросов закиси азота	MN_2O , т/год	–	$3,12 \cdot 10^{-6}$	$2,83 \cdot 10^{-6}$
Снижение расхода условного топлива	ΔB , т у.т./год	–	3,46	3,35
Снижение выбросов диоксида углерода	ΔMCO_2 , т/год	–	5,96	5,77

Заключение

С помощью разработанной 3D тепловой модели выполнен анализ эффективности применения в качестве теплоизоляционного материала «Эковата» для теплоизоляции индивидуальных жилых домов. Исследования динамики изменения температуры воздуха в реконструированном доме при его естественном охлаждении показали, что в течение недели температура внутри дома снижается с 22 до 12 °С. При этом более интенсивное охлаждение имеет место в первые трое суток и преимущественно

в ночное время при более низкой температуре окружающей среды. Проведенный сравнительный численный анализ динамики охлаждения различных вариантов теплоизоляции дома на основе эковаты, тростника (400 мм), тростника и глины + соломы (100 мм + 300 мм), а также традиционного кирпича (400 мм) показал теплоизоляционную эффективность применения конструкции на основе «Эковаты», которая характеризуется лучшими экологическими свойствами.

Проведены расчеты удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде. Они свидетельствуют о том, что применение местных экологически чистых материалов позволяет строить здания с установленными показателями удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, которые соответствуют энергоэффективным технологиям.

Библиографические ссылки

1. Ялунина О. В., Бессонов И. В. Экологические аспекты применения стеновых материалов // Актуальные проблемы строительной теплофизики: сб. докл. науч.-практ. конф. НИИСФ. М., 2003. С. 181–187.
2. Титаренко Л. Г. Экологические ценности населения Республики Беларусь: теоретический и эмпирический уровни // Социологический альманах. 2013. № 4, С. 352–359.
3. Мядельский районный исполнительный комитет. [Электронный ресурс]. URL: <http://myadel.minsk-region.by/> (дата обращения: 06.08.2016).
4. Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоСтроитель» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.oekodomstroj.by/> (дата обращения: 18.02.2016).
5. Галинко И. Строительство. Экостроительство в Лепельском районе: планируется построить здание дневного пребывания инвалидов [Электронный ресурс]. Архитектурно-строительный портал. URL: <http://ais.by/> (дата обращения: 15.07.2016).
6. ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования». Минск, 2006.
7. Учебно-практические семинары Энергоэффективное строительство: тростниковые крыши и тепловой реабилитация каркасных домов: материалы учеб. практ. семинаров (д. Стаховцы, Мядельский р-н, Минская обл.). 2010.
8. Кундас С. П., Кресова Е. В. Моделирование и анализ тепловых режимов энергоэффективного дома // Энергоэффективность. 2014. № 12. С. 20–22.
9. Кресова Е. В., Кундас С. П. Тепловая модель индивидуального жилого дома // Информатика. 2015. № 1. С. 56–63.
10. Kundas S., Kresova E., Suprinovich Y. Modeling of Temperature Regimes of Energy Efficiency House // Open Access Library J. 2015. No. 2. P. 1–9. URL: <http://www.oalib.com/articles/3151130#.V11Ecj4sSNY> (date of access: 05.03.2016).
11. Kundas S. P., Kresova E. V. Numerical and Experimental Study of Local Materials Using for the Thermal Insulation of Individual Houses // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: Матеріали Дев'ятої міжнародної наук.-практ. конф. (Львів, 6–7 квітня 2017 р.): зб. наук. статей. Львів, 2017. С. 62–66.

References

1. Yalunina O. V., Bessonov I. V. [Environmental Aspects of Usage of Wall Materials]. *Actual Problems of Building Thermal Physics: Proceedings of NIISF. Moscow. 2003, P. 181–187 (in Russ.)*.
2. Titarenko L. G. [The Ecological Values of the Population in the Republic of Belarus: Theoretical and Empirical Levels]. *Sociological almanac. 2013. No. 4. P. 352–359 (in Russ.)*.
3. Myadel District Executive Committee. URL: <http://myadel.minsk-region.by/> (date of access: 06.08.2016).
4. International Charitable Public Association «EcoBuilder». URL: <http://www.oekodomstroj.by/> (date of access: 18.02.2016)..
5. Galinko I. Building. Green Building in Lepel District: It Is Planned to Construct a Day Stay Building for Persons With Disabilities. Architecture and Construction Portal. URL: <http://ais.by/> (date of access: 15.07.2016).
6. [Technical Code of Good Practice 45-2.04-43-2006 (02250) «Building heating engineer. Building design standards». Minsk, RUE «Stroitechnorm». Minsk, 2006 (in Russ.).
7. [Energy Efficient construction: Reed Roof and Thermal Rehabilitation of Frame House: proceedings training Seminars and Workshops. (v.) Stahovtsy, Myadel district, Minsk region. 2010] (in Russ.).
8. Kundas S. P., Kresova E. V. [Simulation and Analysis of Thermal Regimes of Energy Efficiency House]. *Energy efficiency. 2014. No. 12. P. 20–22 (in Russ.)*.
9. Kresova E. V., Kundas S. P. [The Thermal Model of Individual House]. *Informatics. 2015. No. 1. P. 56–63 (in Russ.)*.
10. Kundas S., Kresova E., Suprinovich Y. Modeling of Temperature Regimes of Energy Efficiency House. *Open Access Library J. 2015. No. 2. P. 1–9. URL: http://www.oalib.com/articles/3151130#.V11Ecj4sSNY* (date of access: 05.03.2016).
11. Kundas S. P., Kresova E. V. Numerical and Experimental Study of Local Materials Using for the Thermal Insulation of Individual Houses. *Alternative. Renewable Energy Sources As Alternative Primary Energy Sources in the Region: IX International Scientific Conference (Lviv, 2017). Lviv, 2017. P. 62–66.*

Статья поступила в редакцию 21.11.2017
Received by editorial board 21.11.2017

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И МИКРОБНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ ПЛОДОНОШЕНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В ПЛОДАХ ГОЛУБИКИ НА ВЫРАБОТАННОМ УЧАСТКЕ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА СЕВЕРЕ БЕЛАРУСИ

Ж. А. РУПАСОВА¹⁾, А. П. ЯКОВЛЕВ¹⁾, З. М. АЛЕЩЕНКОВА²⁾, Э. И. КОЛОМИЕЦ²⁾, П. Н. БЕЛЫЙ¹⁾,
А. М. НИКОЛАЙЧУК¹⁾, М. Н. ВАШКЕВИЧ¹⁾, И. В. САВОСЬКО¹⁾

¹⁾Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси,
ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Беларусь

²⁾Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси, ул. Купревича, 2, 220141, Минск, Беларусь

Приведены результаты сравнительного исследования в опытной культуре на рекультивируемом участке торфяной выработки морфометрических, биопродукционных и биохимических характеристик плодов *V. angustifolium* и межвидовых гибридов Northcountry и Northblue на фоне внесения полного минерального (N16P16K16) и ряда микробных удобрений – жидкого препарата Маклор в концентрациях 10 и 50 %, жидкого и сухого препарата Агромик, а также жидкого препарата Бактопин при дифференцированном и совместном применении.

Показано, что усиление минерального питания модельных таксонов голубики не оказывало значимого влияния на размерные параметры плодов, но способствовало увеличению их урожайности на 17–26 %, по сравнению

Образец цитирования:

Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Алещенкова З. М., Коломиец Э. И., Белый П. Н., Николайчук А. М., Вашкевич М. Н., Савосько И. В. Влияние минеральных и микробных удобрений на параметры плодоношения и содержание органических кислот в плодах голубики на выработанном участке торфяного месторождения на севере Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 100–106.

For citation:

Rupasova Z. A., Yakovlev A. P., Aleschenkova Z. M., Kolomiets E. I., Bely P. N., Nikolaichuk A. M., Vashkevich M. N., Savosko I. V. Influence of mineral and microbial fertilizers on fruiting parameters and the content of organic acids in the fruits of blueberry on opencast peatland in conditions of the north of Belarus. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 100–106 (in Russ.).

Авторы:

Рупасова Жанна Александровна – доктор биологических наук, член-корреспондент НАН Беларуси; заведующий лабораторией химии растений.

Яковлев Александр Павлович – кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией экологической физиологии растений.

Алещенкова Зинаида Михайловна – доктор биологических наук; заведующий лабораторией взаимоотношений микроорганизмов почвы и высших растений института микробиологии.

Коломиец Эмилия Ивановна – доктор биологических наук, член-корреспондент НАН Беларуси; директор института микробиологии, заведующий лабораторией средств биологического контроля.

Белый Павел Николаевич – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории экологической физиологии растений.

Николайчук Алла Михайловна – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории экологической физиологии растений.

Вашкевич Марина Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории экологической физиологии растений.

Савосько Ирина Валерьевна – младший научный сотрудник лаборатории химии растений.

Authors:

Zhanna A. Rupasova, doctor of sciences (biology), corresponding member of NAS of Belarus, professor; head of epy laboratory of chemistry of plants.

J.Rupasova@cbg.org.by

Alexander P. Yakovlev, PhD (biology), associate professor; head of the laboratory of ecological physiology of plants.

A.Yakovlev@cbg.org.by

Zinaida M. Aleschenkova, doctor of sciences (biology); head of the laboratory of interrelations between microorganisms of soil and higher plants.

aleschenkova@mbio.bas-net.by

Emilia I. Kolomiets, doctor of sciences (biology), corresponding member of NAS of Belarus; director of the institute of microbiology, head of the laboratory of biological control means.

kolomiets@mbio.bas-net.by

Pavel N. Bely, PhD (biology); senior researcher of the laboratory of ecological physiology of plants.

pavel.bely@tut.by

Alla M. Nikolaichuk, PhD (biology); senior researcher of the laboratory of ecological physiology of plants.

A.Nikolaichuk@cbg.org.by

Marina V. Vashkevich, junior researcher of the laboratory of ecological physiology of plants.

marivashkevich@yandex.ru

Irina V. Savosko, junior researcher of the laboratory of chemistry of plants.

irinay@tut.by

с контролем, при наиболее выраженном эффекте на фоне N16P16K16, и при внесении 50 %-ного удобрения Ма-Клор (*V. angustifolium* и сорт Northcountry), а также препарата Агромик (сорт Northblue). Наименьшая прибавка урожайности имела место на фоне внесения препарата Бактопин.

Внесение и микробных, и минеральных удобрений в основном способствовало обогащению плодов голубики на 5–21 % сухими веществами, по сравнению с контролем, при выраженном в разной степени, в зависимости от генотипа растений и вида удобрения, обеднении их свободными органическими и аскорбиновой кислотами на 4–50 % и 7–29 % соответственно при наиболее значительном проявлении ответной реакции у узколистного вида.

Ключевые слова: выработанный торфяник; рекультивация; минеральные удобрения; микробные препараты; эффективность; ягоды голубики; биохимический состав.

INFLUENCE OF MINERAL AND MICROBIAL FERTILIZERS ON FRUITING PARAMETERS AND THE CONTENT OF ORGANIC ACIDS IN THE FRUITS OF BLUEBERRY ON OPENCAST PEATLAND IN CONDITIONS OF THE NORTH OF BELARUS

Z. A. RUPASOVA^a, A. P. YAKOVLEV^a, Z. M. ALESCHENKOVA^b, E. I. KOLOMIETS^b, P. N. BELY^a,
A. M. NIKOLAICHUK^a, M. N. VASHKEVICH^a, I. V. SAVOSKO^a

^aThe Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus,
Surganova street, 2c, 220012, Minsk, Belarus

^bThe Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus,
Kuprevicha street, 2, 220141, Minsk, Belarus

Corresponding author: A.Yakovlev@cbg.org.by

The paper deals with the results of a comparative study of morphometric, bioproduction and biochemical characteristics of *Vaccinium angustifolium* fruits and the intraspecific hybrids of Northcountry and Northblue (grown in the experimental culture at the recultivated opencast peatland in the north of the Republic) against the background of full mineral (N16P16K16) and microbial (liquid preparation «MaKlor» in concentrations of 10 and 50 %; liquid and dry forms of «Agromik» preparation; liquid preparation «Bactopin») fertilizers application under differentiated and joint application.

Found that the enhancement of the mineral nutrition of examined blueberry taxa did not have a significant effect on the size of the fruits, but contributed to an increase in their yield by 17–26 %, compared with the control. The most significant differences revealed against the background of N16P16K16 with 50 % fertilizer «MaKlor» (*V. angustifolium* and Northcountry variety), as well as «Agromik» preparation (Northblue variety). The least increase in yield took place against the background of the application of «Bactopin».

The use of both microbial and mineral fertilizers contributed to the enrichment of blueberry fruits with dry substances (by 5–21 % compared to the control), with a pronounced depletion of free organic and ascorbic acids by 4–50 % and 7–29 %, respectively, with the most significant manifestation of the response in a narrow-leaved species.

Key words: opencast peatland; recultivation; mineral fertilizers; microbial preparations; effectiveness; blueberries fruits; biochemical composition.

Введение

Одним из наиболее эффективных приемов возвращения в хозяйственный оборот земель, нарушенных добычей торфа, является их фиторекультивация на основе создания локальных агроценозов ягодных растений сем. Ericaceae (Вересковые). Однако, как показал практический опыт, повышение плодородия выработанных торфяных месторождений с помощью средств химизации недостаточно эффективно. Это обусловлено значительными затратами на приобретение и внесение дорогостоящих минеральных удобрений, что увеличивает себестоимость конечной продукции и приводит к загрязнению окружающей среды вредными веществами. Наиболее перспективным представляется использование в фиторекультивационных целях микробно-растительных ассоциаций, способствующих активизации микробиологических и биохимических процессов в остаточном слое торфяной залежи. При этом будет обеспечено не только введение их в органическое земледелие, но и получение экологически чистой, экспортоориентированной высоковитаминной ягодной продукции.

В настоящее время в Институте микробиологии НАН Беларуси в рамках ГНТП «Промышленные биотехнологии» уже создан ряд микробных удобрений на основе ассоциативных азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий, положительно влияющих на развитие сельскохозяйственных культур [1; 2]. Вместе с тем до настоящего времени не было проведено испытаний микробных препаратов на ягодных растениях сем. *Egicaseae* в специфических условиях существования на участках выработанных торфяных месторождений, характеризующихся чрезвычайно низким уровнем плодородия и сильнокислой реакцией почвенного раствора. В этой связи представлялось необходимым проведение комплексных исследований ответной реакции малотребовательных к уровню обеспеченности питательными элементами интродуцированных ягодных растений голубики на применение данных препаратов.

Материалы и методы исследования

В условиях сезона 2017 г. на выработанном участке торфяного месторождения «Журавлевское» (Докшицкий р-н Витебской обл.) было проведено сравнительное исследование влияния полного минерального и трех видов разработанных в Институте микробиологии НАН Беларуси микробных удобрений – МаКлор, Агромик и Бактопин на параметры плодоношения и содержания свободных органических и аскорбиновой кислот в плодах узколистной голубики *V. angustifolium* и сортов Northcountry и Northblue, являющихся межвидовыми гибридами голубики (*V. angustifolium* × *V. corymbosum*).

Полевые опыты были заложены на участке сильнокислого (рНКС1 – 2,8), малоплодородного (содержание P₂O₅ и K₂O не более 12–15 и 11–21 мг/кг соответственно), полностью лишённого растительности остаточного слоя донного торфа средней степени разложения, представленного сфагново-древесно-пушицевой ассоциацией. Схема опыта включала 6 вариантов в трехкратной повторности: 1 – контроль, без внесения удобрений; 2 – луночное внесение в мае и июне 10 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлор (0,5 л / растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением Агромик из расчета 100 г на 10 л рабочего раствора, или 5,5 г на 1 растение; 3 – луночное внесение в мае и июне 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлор (0,5 л / растение); 4 – луночное внесение в мае и июне жидкого препарата Агромик (0,5 л / растение); 5 – луночное внесение в мае и июне жидкого препарата Бактопин (0,5 л / растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением Агромик (100 г на 10 л рабочего раствора, или 5,5 г на 1 растение); 6 – луночное внесение в почву NPK 16:16:16 кг/га д. в., или 5 г на 1 растение. В каждом варианте опыта было высажено по 18 растений голубики.

В период плодоношения растений определяли величину ягодной продукции, среднюю массу плодов, а также их усредненные линейные параметры (длину и диаметр).

Исследование биохимического состава зрелых плодов исследуемых интродуцентов осуществляли по трем показателям. В свежих усредненных пробах плодов повариантно определяли содержание: сухих веществ – по ГОСТ 28561-90 [3]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [4]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [4]

Результаты и обсуждение

Поскольку полевой эксперимент с применением минеральных и микробных удобрений проводился с молодыми растениями голубики, вступившими в период плодоношения только в 2017 г., то их урожайность в данном сезоне, отмеченном весьма сложными погодными условиями с недостатком тепла и избытком влаги, была весьма незначительной. Как и следовало ожидать, межвидовые гибриды Northcountry и Northblue характеризовались более крупными, чем у *V. angustifolium*, плодами, а их размерные параметры изменялись по вариантам опыта в данном таксономическом ряду в следующих диапазонах: по длине 0,82–0,91, 0,84–0,97 и 0,75–0,88 см соответственно, по диаметру – 0,65–0,74, 0,65–0,70 и 0,63–0,77 см и по средней массе плода 0,39–0,51, 0,44–0,53 и 0,38–0,47 г (табл. 1). Обращают на себя внимание более мелкие размеры плодов межвидовых гибридов голубики, по сравнению с установленными нами в этом же районе исследований, но в более благоприятные сезоны 2009 и 2010 гг. [5]. Поскольку на начальном этапе плодоношения растений, как правило, реализуется лишь незначительная часть их репродуктивных возможностей, то урожайность модельных сортов голубики была сравнительно невысокой и варьировалась в рамках эксперимента в диапазонах 102,8–128,5, 103,6–131,5 и 107,2–129,7 г/растение соответственно.

Сравнительная узость приведенных диапазонов варьирования размерных параметров плодов модельных таксонов голубики в рамках полевого эксперимента, на наш взгляд, свидетельствовала как о генетической детерминированности данных признаков, так и об их устойчивости к действию испытывавшихся агроприемов, что подтверждалось отсутствием статистически значимых межвариантных различий в рамках эксперимента (табл. 1). Лишь в единичных случаях – в 3-м, 5-м и 6-м вариантах опыта, на фоне внесения 50 %-ного раствора удобрения МаКлор, препарата Бактопин и N16P16K16

отмечено достоверное изменение формы плода *V. angustifolium* в сторону его удлинения на 10–12 %, по сравнению с контролем.

Таблица 1

Урожайность и морфометрические параметры плодов растений голубики в вариантах полевого опыта

Table 1

Productivity and morphometric parameters of blueberry fruits in the field experiment

Вариант опыта	Длина, см		Диаметр, см		Длина/Диаметр		Масса, г		Урожайность, г/растение	
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>						
<i>V. angustifolium</i>										
1	0,82±0,14	–	0,77±0,14	–	1,07±0,01	–	0,46±0,17	–	102,8±1,5	–
2	0,76±0,15	0,29	0,69±0,13	0,42	1,10±0,05	0,59	0,40±0,15	0,26	124,2±2,3	2,90*
3	0,88±0,13	0,31	0,73±0,12	0,22	1,20±0,04	3,15*	0,43±0,17	0,12	126,2±3,4	3,74*
4	0,76±0,11	0,34	0,68±0,11	0,51	1,11±0,03	1,26	0,40±0,08	0,32	124,2±4,6	2,67*
5	0,75±0,11	0,39	0,63±0,12	0,76	1,19±0,04	2,91*	0,38±0,11	0,40	122,6±3,5	3,47*
6	0,88±0,13	0,31	0,74±0,12	0,16	1,18±0,02	4,92*	0,47±0,15	0,04	128,5±5,2	2,84*
Сорт <i>Northcountry</i>										
1	0,84±0,09	–	0,67±0,10	–	1,24±0,08	–	0,39±0,09	–	103,6±2,8	–
2	0,91±0,09	0,55	0,68±0,10	0,07	1,34±0,03	1,17	0,47±0,09	0,63	127,5±3,2	3,69*
3	0,89±0,09	0,39	0,67±0,09	0	1,33±0,03	1,05	0,47±0,10	0,59	131,5±4,7	2,83*
4	0,87±0,08	0,25	0,67±0,08	0	1,30±0,04	0,67	0,45±0,09	0,47	128,9±3,9	2,82*
5	0,82±0,09	0,16	0,65±0,11	0,13	1,27±0,03	0,35	0,39±0,10	0	123,8±2,1	3,54*
6	0,85±0,09	0,08	0,74±0,10	0,49	1,28±0,04	0,45	0,51±0,11	0,84	130,0±3,5	3,75*
Сорт <i>Northblue</i>										
1	0,91±0,09	–	0,65±0,10	–	1,40±0,12	–	0,46±0,09	–	107,2±2,9	–
2	0,85±0,12	0,40	0,70±0,09	0,37	1,36±0,05	0,31	0,53±0,10	0,52	126,1±3,6	3,37*
3	0,97±0,10	0,45	0,70±0,08	0,39	1,38±0,07	0,14	0,44±0,09	0,16	126,9±3,1	3,46*
4	0,87±0,11	0,28	0,70±0,11	0,34	1,25±0,01	1,25	0,48±0,11	0,14	129,0±4,4	3,51*
5	0,84±0,12	0,47	0,68±0,10	0,21	1,23±0,05	1,31	0,51±0,09	0,39	125,5±3,3	3,34*
6	0,85±0,09	0,47	0,65±0,11	0	1,38±0,01	0,17	0,49±0,11	0,24	129,7±5,9	2,60*

Примечание. (*) – статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при $P < 0,05$.

Сравнительная узость приведенных диапазонов варьирования размерных параметров плодов модельных таксонов голубики в рамках полевого эксперимента, на наш взгляд, свидетельствовала как о генетической детерминированности данных признаков, так и об их устойчивости к действию испытывавшихся агроприемов, что подтверждалось отсутствием статистически значимых межвариантных различий в рамках эксперимента (табл. 1). Лишь в единичных случаях – в 3-м, 5-м и 6-м вариантах опыта, на фоне внесения 50 %-ного раствора удобрения МаКлор, препарата Бактопин и $N_{16}P_{16}K_{16}$ отмечено достоверное изменение формы плода *V. angustifolium* в сторону его удлинения на 10–12 %, по сравнению с контролем.

В отличие от размерных параметров плодов голубики, для показателя средней урожайности в удобрявшихся вариантах опыта было выявлено весьма существенное превышение контрольных значений при сравнительно узких диапазонах его варьирования в рамках эксперимента, составлявших соответственно 19,3–25,0, 19,5–25,5 и 17,1–21,0 %. При этом максимальные различия с контролем по урожайности плодов всех модельных сортов голубики были установлены на фоне $N_{16}P_{16}K_{16}$, а также либо при внесении 50 %-ного раствора удобрения МаКлор (у *V. angustifolium* и сорта *Northcountry*), либо жидкого препарата Агромик (сорт *Northblue*). Наименьшая же прибавка урожайности у всех сортов голубики в данном сезоне была отмечена в варианте опыта с внесением жидкого препарата Бактопин в сочетании с сухим микоризным удобрением Агромик.

Сравнительное исследование влияния минеральных и микробных удобрений на биохимический состав плодов модельных таксонов голубики в данном сезоне показало, что испытывавшиеся агроприемы

оказали весьма заметное влияние не только на продукционные характеристики, но и на их биохимический состав плодов, причем в характере данного влияния проявились существенные таксономические различия. Как следует из табл. 2, содержание сухих веществ в плодах *V. angustifolium*, а также межвидовых гибридов Northcountry и Northblue варьировалось в рамках полевого опыта в довольно близких между собой диапазонах значений (соответственно): 15,5–18,8 %, 15,6–17,7 % и 16,8–18,1 % при содержании в сухой массе свободных органических кислот от 3,76 до 7,56 %, от 5,14 до 6,92 % и от 4,56 до 7,37 % соответственно и аскорбиновой кислоты от 285,2 до 398,7 мг %, от 277,3 до 339,9 мг % и от 288,3 до 357,6 мг % соответственно. Заметим, что данные таксоны голубики в этом же районе исследований, но в более благоприятные по погодным условиям сезоны характеризовались существенно большим накоплением в плодах и титруемых, и аскорбиновой кислот при меньшем содержании сухих веществ [5].

Таблица 2

Содержание сухих веществ и органических кислот (в сухой массе) в плодах голубики в опытной культуре

Table 2

The content of dry matter and organic acids (in dry mass) in blueberry fruits in the experimental culture

Вариант опыта	Сухие вещества, %		Органические кислоты		Длина/Диаметр	
			титруемые, %		аскорбиновая, мг /%	
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
<i>V. angustifolium</i>						
1	15,5±0,3	–	7,56±0,05	–	398,7±10,5	–
2	18,7±0,1	11,8*	4,51±0,06	–41,6*	343,5±8,7	–4,1*
3	16,0±0,3	1,3	4,27±0,03	–57,5*	324,3±10,4	–5,0*
4	18,5±0,5	5,3*	3,79±0,03	–68,0*	285,2±12,9	–6,8*
5	18,8±0,2	9,9*	4,04±0,03	–65,6*	321,0±8,9	–5,7*
6	17,4±0,3	5,5*	3,76±0,05	–54,5*	297,4±9,5	–7,2*
Сорт Northcountry						
1	17,3±0,4	–	6,30±0,03	–	338,5±3,7	–
2	15,6±0,2	–3,6*	6,17±0,03	–2,1	339,9±10,4	0,1
3	15,8±0,1	–3,8*	6,05±0,03	–5,4*	315,5±4,6	–3,9*
4	17,7±0,3	0,7	6,84±0,03	12,0*	310,7±3,7	–5,4*
5	16,5±0,4	–1,4	6,92±0,03	13,2*	277,3±14,1	–4,2*
6	17,0±0,2	–0,7	5,14±0,06	–16,9*	290,3±15,3	–3,1*
Сорт Northblue						
1	16,8±0,1	–	7,25±0,03	–	357,6±9,9	–
2	18,0±0,2	3,1*	4,56±0,03	–67,1*	302,4±9,2	–4,1*
3	18,1±0,1	7,6*	6,68±0,03	–13,4*	288,3±14,7	–3,9*
4	17,7±0,1	6,2*	4,86±0,05	–39,8*	307,4±9,4	–3,7*
5	17,0±0,3	0,4	7,37±0,03	2,7	320,8±9,8	–2,8*
6	17,8±0,1	6,4*	4,74±0,03	–59,2*	306,5±9,3	–3,8*

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $P < 0,05$.

Вместе с тем влияние испытывавшихся агроприемов на данные характеристики биохимического состава плодов модельных таксонов голубики оказалось весьма неоднозначным. Так, применение и микробных, и минеральных удобрений в большинстве случаев способствовало активизации накопления сухих веществ в плодах *V. angustifolium* и сорта Northblue, по сравнению с контролем, тогда как для сорта Northcountry, напротив, было показано либо снижение их содержания на 9–10 % (в обоих вариантах опыта с применением препарата МаКлор), либо отсутствие достоверного влияния на данный показатель (табл. 3). При этом в плодах узколистной голубики, на фоне внесения микробных удобрений, за исключением варианта с использованием 50 %-ного раствора препарата МаКлор, отмечено сходное по относительной величине (в пределах 19–21 %) увеличение, по сравнению с контролем, содержания

сухих веществ. Подобное увеличение данного показателя в варианте с внесением полного минерального удобрения было заметно ниже и не превышало 12 %.

Таблица 3

Относительные различия с контролем вариантов полевого опыта с внесением удобрений по биохимическим характеристикам плодов голубики, %

Table 3

Relative differences in the biochemical characteristics of blueberry fruits in field experiments with fertilization, % of control

Показатель	Варианты опыта				
	2	3	4	5	6
	<i>V. angustifolium</i>				
Сухие вещества	+20,6	–	+19,4	+21,3	+12,3
Свободные органические кислоты	–40,3	–43,5	–49,9	–46,6	–50,3
Аскорбиновая кислота	–13,8	–18,7	–28,5	–19,5	–25,4
	Сорт <i>Northcountry</i>				
Сухие вещества	–9,8	–8,7	–	–	–
Свободные органические кислоты	–	–4,0	+8,6	+9,8	–18,4
Аскорбиновая кислота	–	–6,8	–8,2	–18,1	–14,2
	Сорт <i>Northblue</i>				
Сухие вещества	+7,1	+7,7	+5,4	–	+6,0
Свободные органические кислоты	–37,1	–7,9	–33,0	–	–34,6
Аскорбиновая кислота	–15,4	–19,4	–14,0	–10,3	–14,3

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $P < 0,05$.

Превышение контрольного уровня содержания сухих веществ в плодах сорта *Northblue* на фоне внесения удобрений оказалось менее выразительным, чем у *V. angustifolium* (в пределах 5–8 %), причем в варианте опыта с совместным использованием препаратов Бактопин и Агромик достоверного изменения данного показателя не выявлено вовсе. Наряду с этим, у *V. angustifolium* и сорта *Northblue* обозначились сходные по знаку тенденции в рамках эксперимента и в изменении содержания в плодах свободных органических кислот, проявившиеся более выразительно, как и в предыдущем случае, у первого таксона (табл. 3). Внесение микробных и минеральных удобрений способствовало заметному ингибированию в них биосинтеза титруемых кислот, на что указывало снижение их содержания по сравнению с контролем на 40–50 % у узколистного вида и на 8–37 % у сорта *Northblue*. В отличие от этих таксонов голубики, у сорта *Northcountry* ингибирующее действие удобрений на накопление в плодах титруемых кислот проявилось намного слабее, причем оно имело место лишь на фоне применения 50%-ного раствора препарата МаКлор и $N_{16}P_{16}K_{16}$, что проявилось в снижении их содержания, по сравнению с контролем на 4 и 18 % соответственно. При этом в варианте опыта с использованием 10 %-ного раствора препарата МаКлор достоверных изменений в содержании титруемых кислот выявлено не было, а в обоих вариантах опыта с применением препарата АгроМик имело место не обеднение, а напротив, обогащение плодов этими соединениями на 9–10 % по сравнению с контролем. Обращает на себя внимание, что наиболее существенное обеднение плодов всех трех таксонов голубики свободными органическими кислотами установлено на фоне внесения полного минерального удобрения.

Все испытывавшиеся агроприемы оказали выраженное в разной степени ингибирующее действие на биосинтез в плодах голубики не только титруемых, но и аскорбиновой кислоты. Как следует из табл. 3, ее содержание в плодах узколистного вида во всех удобрявшихся вариантах опыта уступало таковому в контроле на 14–29 % при наибольших различиях, как и в содержании титруемых кислот, на фоне внесения препарата Агромик и полного минерального удобрения. Подобные различия с контролем у межвидовых гибридов оказались менее значительными, особенно у сорта *Northcountry*, и варьировались в рамках эксперимента в интервале от 7 до 18 %. При этом наибольшее обеднение плодов сорта *Northcountry* аскорбиновой кислотой наблюдалось в варианте опыта с совместным внесением препаратов Бактопин и Агромик, тогда как сорта *Northblue* – на фоне применения 50 %-ного раствора

препарата МаКлор. Следует заметить, что у сорта *Northcountry* внесение 10 %-ного раствора препарата МаКлор не оказало достоверного влияния на содержание в плодах ни аскорбиновой, ни свободных органических, кислот.

Заключение

В результате сравнительного исследования в опытной культуре на рекультивируемом участке торфяной выработки морфометрических, биопродукционных и биохимических характеристик плодов *V. angustifolium* и межвидовых гибридов *Northcountry* и *Northblue* на фоне внесения полного минерального ($N_{16}P_{16}K_{16}$) и ряда микробных удобрений – жидкого препарата МаКлор в концентрациях 10 и 50 %, жидкого и сухого препарата Агромик, а также жидкого препарата Бактопин при дифференцированном и совместном применении установлено следующее:

- Усиление минерального питания модельных таксонов голубики не оказывало значимого влияния на размерные параметры плодов, но способствовало увеличению их урожайности на 17–26 % (по сравнению с контролем) при наиболее выраженном эффекте на фоне $N_{16}P_{16}K_{16}$, и при внесении 50 %-ного удобрения МаКлор (*V. angustifolium* и сорт *Northcountry*), а также препарата Агромик (сорт *Northblue*). Наименьшая прибавка урожайности имела место на фоне внесения препарата Бактопин.

- Внесение и микробных, и минеральных удобрений в основном способствовало обогащению плодов голубики на 5–21 % сухими веществами (по сравнению с контролем) при выраженном в разной степени в зависимости от генотипа растений и вида удобрения, обеднении их свободными органическими и аскорбиновой кислотами на 4–50 % и 7–29 % соответственно при наиболее значительном проявлении ответной реакции у узколистного вида.

Библиографические ссылки

1. Алещенкова З. М. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений // Наука и инновации. 2015. № 8 (150). С. 66–67.
2. Соловьева Е. А. Микробный препарат АгроМик для стимуляции роста и развития тритикале // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : сб. науч. тр. Минск, 2013.
3. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. Введ. 01.01.1983. М., 1982.
4. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград, 1987.
5. Рупасова Ж. А., Яковлев А. П. Фиторекультивация выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси на основе культивирования ягодных растений сем. *Ericaceae*. Минск, 2011.

References

1. Aleshchenkova Z. M. [Microbial fertilizers for stimulation of plant growth and development]. *Sci. and innovat.* 2015. No. 8(150). P. 66–67 (in Russ.).
2. Solovjeva E. A. [Microbial AgroMic preparation for stimulation of growth and development of triticale]. *Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects*: coll. sci. tr. Minsk, 2013 (in Russ.).
3. [Methods for the determination of dry matter: JOST 8756.2-82. Introol. 01.01.1983]. Moscow, 1982 (in Russ.).
4. Ermakova A. I. (ed.). [Methods biochemical study of plants]. Leningrad, 1987 (in Russ.).
5. Rupasova J. A., Yakovlev A. P. [Phytorecultivation of opencast peatlands on the basis of cultivation of berry plants of the family *Ericaceae* in conditions of the north of Belarus]. Minsk, 2011 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 27.11.2017
Received by editorial board 27.11.2017

УТИЛИЗАЦИЯ И ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ НЕФТЕДОБЫЧИ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РЕЗИН

Г. З. ТУРЕБЕКОВА¹⁾, Г. Ж. ПУСУРМАНОВА²⁾, С. А. САКИБАЕВА²⁾, Г. Ф. САГИТОВА²⁾,
А. Ж. ДАЙРАБАЕВА²⁾, А. М. ДОСБАЕВА²⁾

¹⁾Южно-Казахстанский государственный педагогический институт,
ул. Байтурсынова, 13, 160012, Шымкент, Казахстан

²⁾Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова,
пр. Тауке хана, 5, 160012, Шымкент, Казахстан

Рассмотрены наиболее острые экологические проблемы хранения и утилизации отходов (серы и нефтешлама), а также некоторые способы их решения при добыче и переработки нефти. На Тенгизском месторождении образуется большой объем отходов серы, которые хранятся на открытых площадках, где под воздействием атмосферы, высокой температуры (летом до 45–50 °С) и других факторов образуются ее соединения, вредные для здоровья человека и окружающей среды.

Путем последовательного изучения влияния на свойства резин содержания каждого из компонентов в отдельности (серы и нефтешлама) при фиксированных количествах других ингредиентов была проведена оптимизация разработанных резиновых смесей для изготовления наполнительного шнура борта легковых шин. Применение тенгизской серы позволило сохранить кинетику вулканизации, которая могла бы снизиться при применении ОЧН, а также применение тенгизской серы позволило повысить твердость резин, которая необходима для повышения жесткости борта автопокрышки.

Результаты расширенных испытаний показали возможность замены традиционно используемых в резиновых смесях мягчителей на органическую часть нефтешлама и использования тенгизской серы в виде вулканизирующего агента. Наполнители в рецептуре резиновых смесей для изготовления наполнительного шнура могут быть частично заменены на минеральную часть нефтешлама.

Ключевые слова: сера; нефтешламы; органическая часть нефтешлама; резиновые смеси; вулканизирующая система; пластификаторы.

Образец цитирования:

Туребекова Г. З., Пусурманова Г. Ж., Сакибаева С. А., Сагитова Г. Ф., Дайрабаева А. Ж., Досбаева А. М. Утилизация и вторичное использование отходов нефтедобычи и нефтепереработки в производстве резин // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 4. С. 107–115.

For citation:

Turebekova G. Z., Pusurmanova G. Zh., Sakibayeva S. A., Sagitova G. F., Dairabayeva A. Zh., Dosbayev A. M. Utilization and secondary use of waste oil and oil refining in the production of rubber. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 4. P. 107–115 (in Russ.).

Авторы:

Гаухар Захиевна Туребекова – кандидат технических наук, доцент; декан факультета естествознания.

Гульжамал Жусупбековна Пусурманова – кандидат технических наук; профессор кафедры нефтепереработки и нефтехимии.

Сауле Абдразаковна Сакибаева – кандидат технических наук; заведующий кафедрой нефтепереработки и нефтехимии.

Гузалия Фаритовна Сагитова – кандидат технических наук; доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды.

Айгуль Жаксылыковна Дайрабаева – старший преподаватель кафедры экологии.

Айдана Мынболатовна Досбаева – магистр экологии; преподаватель кафедры экологии.

Authors:

Gaukhar Z. Turebekova, PhD (engineering), associate professor; dean of the faculty of natural sciences.

g.ture@mail.ru

Gulzhama Z. Pusurmanova, PhD (engineering); professor of the department of oil refining and petrochemistry.

g.ture@mail.ru

Saule A. Sakibayeva, PhD (engineering); head of the department of oil refining and petrochemistry.

g.ture@mail.ru

Guzalia F. Sagitova, PhD (engineering); associate professor of the department of life safety and environmental protection.

g.ture@mail.ru

Aigul Z. Dairabayeva, senior lecturer of the department of ecology.

g.ture@mail.ru

Aidana M. Dosbayeva, master of ecology; lecturer of the department of ecology.

g.ture@mail.ru

UTILIZATION AND SECONDARY USE OF WASTE OIL AND OIL REFINING IN THE PRODUCTION OF RUBBER

G. Z. TUREBEKOVA^a, G. ZH. PUSURMANOVA^b, S. A. SAKIBAYEVA^b, G. F. SAGITOVA^b,
A. ZH. DAIRABAYEVA^b, A. M. DOSBAYEVA^b

^aSouth Kazakhstan State Pedagogical Institute, Baytursynov street, 13, 160012, Shymkent, Kazakhstan

^bM. Auezov named South Kazakhstan State University, Tauke khan avenue, 5, 160012, Shymkent, Kazakhstan

Corresponding author: g.ture@mail.ru

This paper considers the most acute environmental problems of storage and disposal of wastes (sulfur and oil sludge), as well as some ways to solve them during oil extraction and refining. The Tengiz field produces a lot of sulfur waste, which is stored in open fields. Under the influence of the atmosphere, high temperature (in summer up to 45–50 °C), etc., there are formed many sulfur compounds, harmful to human health and the environment.

By sequential study of influence on the properties of rubbers, composition of each of components separately (sulfur and oil sludge) with fixed amounts of other ingredients, optimization of the developed rubber compounds for production of a filler strip of tire beads has been carried out. Application of Tengiz sulfur allowed preserve kinetics of vulcanization, which could be decreased with application of organic part of the oil sludge. Also, use of Tengiz sulfur allowed increase the hardness of rubbers, which is necessary to increase the rigidity of the tire bead.

The results of extended tests have shown the possibility to replace traditionally used in rubber compounds softeners with organic part of the oil sludge and use Tengiz sulfur as a vulcanizing agent. Fillers in the formulation of the rubber compounds for production of the filler strip can be partially replaced with a mineral part of the oil sludge.

Key words: sulfur; oil sludge; organic part of oil sludge; rubber compounds; curing system; plasticizers.

Введение

По величине установленных запасов, геологическим и термобарическим условиям залегания нефтеносных горизонтов и технико-экономическим особенностям разработки Тенгиз является уникальным не только среди месторождений Казахстана, но и мира. В 1998 г. «Тенгизшевройл» (далее – ТШО) провел здесь трехмерные сейсмические исследования, после чего разведанные запасы нефти были оценены предприятием в 1,3 млрд. т. Продуктивные горизонты месторождения Тенгиз залегают на глубине не свыше 5000 м. Этот нефтеносный коллектор занимает участок шириной 19,3 км, протяженностью 21 км. Особенности месторождения – высокое внутрипластовое давление и высокая концентрация сероводорода – требуют решения сложнейших технических и технологических задач, в том числе и экологических проблем утилизации серы [1].

Тенгизская нефть легкая, плотностью при 20 °C 789,2–851,4 кг/м³, сернистая. В процессе очистки сырой нефти от сероводорода ТШО производит побочный продукт – элементарную серу. Из года в год растут искусственные «горы» серных массивов (около 69 кг серы на 1 т добытой нефти). Гигантские объемы отходов нефтедобычи – серы (сегодня в «серных картах» хранится более 8 млн т продукта) вызывает серьезную озабоченность экологов и местного населения, так как при местных климатических условиях (воздействие атмосферы, высокой температуры (летом до 45–50 °C)) сера может перейти во многие более агрессивные серные соединения. Тем более, что массивы серы расположены в санитарно-защитной зоне Тенгизского газоперерабатывающего завода, загазованной зоне, находящихся под влиянием отходящих факельных газов, содержащих углерод, водород различные металлы и др. Одной из основных проблем, возникающих при добыче нефти на Тенгизе, является опасность загрязнения почвы и грунтовых вод, распространение серной пыли, а также поступление сульфида серы в атмосферу [2].

На нефтеперерабатывающих предприятиях основная доля отходов приходится на нефтешламы, которые образуются при добыче нефти, ее транспортировке, переработке, снабжении и реализации потребителям. По мере увеличения объема добычи и переработки нефти происходит увеличение объема нефтяных шламов. Большинство нефтеперерабатывающих заводов на территории Республики Казахстан работает по устаревшим технологиям, в которых глубина переработки нефти не превышает 60 %. В США и странах Европейского союза этот показатель составляет 90 %. Такие несовременные технологии приводят к тому, что большая часть таких остатков переработки, как нефтешламы, накапливаются в виде некондиционных отходов, отравляющих окружающую среду, особенно почвы и грунтовые воды. В мире, по статистическим данным, 3 % от всего объема добытой нефти во время ее транспортировки и последующей переработки остаются неиспользованными и складываются в виде нефтешламов. По

технологическому регламенту на 1 т перерабатываемой нефти образуется 0,007 т нефтешламов, или 0,7 % от общего объема переработки [3].

К настоящему времени в Казахстане скопились десятки тысяч тонн такого продукта, и с каждым годом их количество увеличивается. Нефтешламы занимают достаточно большую территорию, которая практически уже непригодна для использования. Это может привести к интенсивному загрязнению почвы, воздуха и грунтовых вод. Из веществ, входящих в состав нефтешламов, наибольшую опасность для почвогрунтов представляют минеральные соли, нефть и нефтепродукты. По токсичности нефтешламы являются промышленными отходами 3-го класса опасности, а предельное содержание нефти и нефтепродуктов в почве не должно превышать 0,1 г/кг почвы [4]. Неблагоприятное воздействие нефтешламов на окружающую природную среду и невозобновляемость углеводородного сырья делают вопрос переработки отходов актуальным. Поэтому утилизация нефтешламов занимает важную позицию в нефтяном производстве [5–7].

Резиновая промышленность Казахстана располагает весьма ограниченным ассортиментом ингредиентов резиновых смесей. Важным научным направлением нефтехимии является производство пластификаторов, мягчителей, вулканизирующих агентов, наполнителей на основе техногенных отходов. Это позволяет расширить сырьевую базу, использовать большие запасы отходов нефтепереработки, уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду и решить проблему производства импортозамещающих мягчителей и вулканизирующих агентов для резиновой промышленности Казахстана.

Общепринятым является применение в рецептурах резиновых смесей органических и неорганических низкомолекулярных соединений. По эффективности действия полимеры и изделия низкомолекулярных соединений делят на мягчители и пластификаторы. Мягчителями называют низкомолекулярные соединения, снижающие температуру текучести и не влияют на температуру стеклования каучуков. Пластификаторами являются низкомолекулярные соединения, которые снижают температуру стеклования и температуру текучести каучуков. Важное требование к пластификаторам и мягчителям – это их низкая стоимость. Большое значение придается также доступности исходного сырья, используемого для их получения. Различные другие требования к пластификаторам и мягчителям (отсутствие вымываемости водой, маслами и т. д.) определяются конкретными условиями, в которых будет работать готовое изделие, содержащее пластификатор и мягчитель.

В качестве вулканизирующего агента в резиновых смесях используют серу, поэтому в нашем исследовании предлагается использовать в вулканизирующей системе очищенную тенгизскую серу, полученную из отходов нефтедобычи и нефтепереработки.

Ранее нами проведены испытания органической части нефтешлама (ОЧН), выделенного из нефтешлама ТОО «ПетроКазахстанОйлПродуктс» (ПКОП), в рецептурах резиновых смесей на основе каучуков общего назначения в качестве мягчителей, с заменой традиционно используемых мягчителей – масло ПН-6Ш и мягчитель АСМГ. По результатам определения технологических свойств было установлено, что ОЧН оказывает пластифицирующий эффект.

Из литературных источников [8; 9] следует, что все шламонакопители имеют общий характер строения: при хранении нефтешламы, в зависимости от различия физико-химических показателей компонентов, с течением времени разделяется на три слоя. Легкие жидкие углеводороды концентрируются в верхнем слое, средний слой характеризуются большим содержанием воды, а в нижнем, придонном слое, собираются тяжелые фракции углеводородов, смолы, асфальтены и частицы минеральной фазы [10].

В результате проведенных исследований нефтешламов ТОО «ПКОП» установлено, что показатели фазового состава и физико-химических свойств меняются в зависимости от условий их образования, хранения и глубины слоя. Фазовый состав нефтешламов ТОО «ПКОП» представлен в табл. 1.

Как следует из табл. 1, верхний слой – это обводненный нефтепродукт с содержанием до 2,4 % тонкодисперсных механических примесей, который относится к классу эмульсий «вода в масле». Содержание воды не превышает 5,4 %. Содержание нефтепродуктов 25,9 %. Средний слой представлен эмульсией типа «масло в воде». Этот слой содержит 53,1 % воды и 5,7 % механических примесей. Содержание нефтепродуктов 11,2 %. Нижней слой содержит 40,6 % воды, 35,6 % механических примесей, нефтепродуктов – 1,3 %.

Таблица 1

Фазовый состав нефтешламов ТОО «ПКОП»

Table 1

Phase composition of oil sludge LLP «PKOP»

Наименование показателей	Верхний слой	Средний слой	Нижний слой
Содержание воды, % масс	5,4	53,1	40,6
Содержание нефтепродуктов, % масс	25,9	11,2	1,3
Содержание механических примесей, % масс	2,4	5,7	35,6

Нефтешламы как полидисперсная неустойчивая система отличается тем, что его физические характеристики не являются постоянными, поскольку получаемые результаты, при их определении для одной и той же пробы нефтешлама, могут отличаться на 50 и более процентов. Поэтому для проведения эксперимента была отобрана средняя проба нефтешламов из отстойной ямы ТОО «ПКОП». В табл. 2 приведен характерный состав усредненного нефтешлама, отобранного из шламонакопителей ТОО «ПКОП».

Таблица 2

Физико-химические свойства нефтешлама

Table 2

Physical and chemical properties of oil sludge

Показатели качества	Единица измерения	Значения показателей качества
Фазовый состав:	% масс.	
Органическая часть		61,86–71,22
Вода		0,33–5,20
Минеральная часть		31,5–41,3
Плотность	кг/м ³	892–901
Вязкость динамическая	Па·с(П)	
при 20 °С		0,002–0,006 (0,02–0,06)
при 50 °С		0,004–0,009 (0,04–0,09)
при 80 °С		0,0011–0,0015 (0,011–0,015)
рН		6–9
Температура:	°С	
• начало кипения		70–80
• застывания		минус 2–0
Фракционный состав механических примесей, выделенных из нефтешлама	% масс.	
Фр. > 1,25 мм		4,6
0,8 мм		1,2
0,6 мм		1,62
0,5 мм		1,4
0,4 мм		3,28
<0,4 мм		88,8
Химический состав механических примесей, выделенных из нефтешлама:	% масс.	
SiO ₂		35,6
Fe ₂ O ₃		11,5
CaSO ₄		5,3
CaO		3,3
MgO		2,6
Al ₂ O ₃		1,2
Потери при прокаливании		40,5

Для оценки гранулометрического состава минеральной части шламов был проведен рассев усредненных проб на ситах по требованиям ГОСТ 8735. Результаты отсева приведены в табл. 2. Наиболее мелкодисперсным является минеральная часть нефтешлама, которая содержит около 88,8 % частиц меньше чем 0,4 мм. Содержание воды в исследуемых шламах колеблется в пределах 0,33–5,20 % (табл. 2). Органическую часть из нефтешлама извлекли экстракцией. В качестве экстрагента использовали толуол. Физико-химические свойства органической части нефтешлама, извлеченной экстракцией, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-химические свойства органической части нефтешлама, извлеченной экстракцией

Table 3

Physical and chemical properties of the organic part of the oil sludge recovered by extraction

Показатели	Величина показателей
Плотность при 20 °С, кг/м ³	990,0
Массовая доля воды, %	следы
Массовая доля механических примесей, %	0,76
Массовая доля нефтепродуктов, %	99,24
Вязкость условная (при 80 °С), °ВУ	2,84
Температура вспышки в открытом тигле, °С	124
Коксуемость, мас, %	13,5
Кислотное число, мг КОН/1 г	21,0

Из данных табл. 3 следует, что органическая часть нефтешлама – тяжелая (989 кг/м³) характеризуется высокими показателями коксуемости и кислотности. Кислотное число позволяет судить о количестве кислород-содержащих компонентов в органической части нефтешлама. Повышенное его значение в органической фазе нефтешлама, несмотря на преимущественное содержание в нем парафино-нафтеновых углеводородов, может свидетельствовать о наличии значительного межмолекулярного взаимодействия между его компонентами, что обуславливает проявления им высоких адгезионных свойств [11].

Групповой состав органической части нефтешлама, извлеченной экстрагированием толуолом, приведен в табл. 4. Групповой химический состав органической части нефтешлама определяли на хроматографе «Градиент», основанном на адсорбционно-хроматографическом методе Маркуссона (Институт нефтехимпереработки, г. Уфа). Для разделения масел и смол использовали их различную способность сорбироваться силикагелем.

Таблица 4

Групповой химический состав органической части нефтешлама

Table 4

Group chemical composition of the organic part of oil sludge

Компонент	Содержание, масс, %
Масла:	
парафино-нафтеновые	70,8
легкая ароматика	4,2
средняя ароматика	4,4
тяжелая ароматика	8,0
смолы I	4,0
смолы II	7,3
асфальтены	1,3

Как следует из табл. 4, органическая часть нефтешлама характеризуется высоким содержанием парафинов и асфальто-смолистых веществ.

Ниже приведен фракционный состав органическая часть нефтешлама, полученный при разгонке нефтешлама на аппарате АРН-2:

<i>Фракционный состав:</i>	
Начало кипения, °С	90
10 % перегоняется при, °С	300
15 % перегоняется при, °С	350
Выход до 360 °С, масс, %	18,0
Остаток+потери, масс, %	82,0

Данные фракционного состава показывают, что в органической части нефтешлама отсутствуют легкие фракции.

Таким образом, анализ полученных данных свидетельствует, что по составу и свойствам органическая часть нефтяных отходов приближается к тяжелым остаткам нефти Казахстана. Для нее характерны повышенное содержание смол, асфальтенов и плотности, что можно объяснить высокой реакционной способностью смол, которые легко окисляются с образованием асфальтенов. Этот процесс ускоряется за счет развитой поверхности минеральной части нефтешламов, что приводит к окислительному дегидрированию смол в асфальтены.

В минеральные примеси нефтешламов входят соли щелочных металлов (растворимые в воде, извлеченные вместе с нефтью), а также металлоорганические соединения, являющиеся составной частью горючей массы нефтяного шлама и содержащие атомы железа, магния, алюминия, меди и т. д. Механические примеси представляют собой песок (кварц), глина (каолинит), ил, продукты коррозии металла (ржавчина).

Содержания минеральных веществ в золе нефтешлама определяли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) Varian-820MS. Результаты анализа представлены в табл. 5.

Таблица 5

Содержание минеральных веществ в золе нефтешлама

Table 5

Mineral content in oil sludge ash

Определяемые компоненты	Минеральные вещества, %
Fe	20,46
Mg	0,34
Al	1,4
K	1,54
Ca	1,94
Ti	0,059
Mn	0,187
Ni	0,034
Zn	0,038
Cu	0,02
As	0,039
Sr	0,02
Zr	0,08
Pb	0,12
U	0,002

Изучение фазового состава образцов и органической части нефтешлама проводили на приборе ДРОН-3 (дифрактометр рентгеновский общего назначения). Рентгенофазовый анализа показал, что основными составляющими минеральной части отходов являются кварц, кальцит.

Для изучения химической структуры были сняты ИК. Данные ИК-спектроскопического анализа органической части, полученные на спектрофотометра Specord 75-1R, показали преобладание в ее химической структуре насыщенных структур в виде групп CH, CH₂, CH₃ и групп CH₂, входящих в состав длинных парафиновых цепей. Кроме того, отмечено наличие ароматических структур и кислородсодержащих функциональных групп.

Путем последовательного изучения влияния на свойства резин содержания каждого из компонентов в отдельности (серы и нефтешлама) при фиксированных количествах других ингредиентов была проведена оптимизация разработанных резиновых смесей для изготовления наполнительного шнура борта легковых шин. С целью выявления оптимального количества ОЧН в составе резиновых смесей были получены резиновые смеси с различным содержанием ОЧН. Пластификаторы и мягчители были заменены на ОЧН. В рецептурах резиновых смесей в качестве вулканизирующего агента была использована смесь полимерной и коллоидной серы тенгизского месторождения. Рецепты резиновых смесей, применяемой при изготовлении бортовой ленты, приведены в табл. 6.

Высокодисперсная минеральная фракция нефтешлама (1–5 мкм) использована в рецептуре резиновой смеси для изготовления наполнительного шнура бортового крыла легковых шин.

Таблица 6

Рецептура оптимальной резиновой смеси для изготовления наполнительного шнура бортового крыла

Table 6

Formulation of an Optimum Rubber Mixture for the Making of the Airborne Filler Cord

Наименование ингредиентов	На 100 масс. частей каучука					
	Образец	Исследуемые варианты				
		1-в	2-в	3-в	4-в	5-в
1	2	3	4	5	6	7
СКИ-3	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Бутил каучук	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Сера техническая	2,4	–	–	–	–	–
Сера тенгизская	–	1,2	1,6	2,0	2,2	2,4
Сульфенамид «Ц»	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Сантогард РУ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Белила цинковые	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Кислота стеариновая техническая	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Мягчитель АСМГ	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Органическая часть нефтешлама	–	4,0	5,0	6,0	6,5	7,0
Масло ПН-6Ш	4,0	–	–	–	–	–
Ацетонанил Р	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Диафен ФП	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Углерод технический	70,0	60,0	55,0	50,0	45,0	40,0
Минеральная часть нефтешлама	–	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0

Вулканизационные характеристики резиновых смесей, полученные на реометре «Монсанто», подтвердили тот факт, что различные дозировки ОЧН и серы оказывают непосредственное влияние на кинетику вулканизации резиновых смесей. Добавление ОЧН в резиновые смеси приводит к уменьшению минимальной вязкости и жесткости системы эластомерной матрицы. Это снижение прямо пропорционально процентному содержанию ОЧН. Применение тенгизской серы позволяет сохранить продолжительность плато вулканизации, тем самым предотвращая перевулканизацию резин наполнительного шнура [12; 13].

Оптимальное соотношение компонентов, приводящее к снижению минимальной вязкости и увеличению времени начала вулканизации, характеризующие лучшие технологические свойства резиновых смесей, наблюдаются при 7 и 8 массовых частях ОЧН для резиновых смесей, предназначенных для наполнительного шнура. Из анализа вулканометрических кривых резиновых смесей следует, что оптимальным временем достижения вулканизации резиновой смеси для резиновой смеси наполнительного шнура составляет 23 мин. Физико-механические испытания опытных резин указали на возможность наибольшей целесообразности использования органической части нефтешлама в рецептурах резиновых смесей для наполнительного шнура бортовых крыльев, поскольку при замене традиционно используемых мягчителей на ОЧН показатели свойств резин, соответствуют нормам контроля. Наилучшие результаты наблюдаются при дозировке 8–10 массовых частей ОЧН для резиновых смесей, предназначенных для наполнительного шнура. Зависимости основных физико-механических показателей вулканизатов резин наполнительного шнура от дозировки ОЧН и тенгизской серы приведены в табл. 7.

Свойства вулканизатов на основе каучуков общего назначения для наполнительного шнура с добавками органической части нефтешламов и тенгизской серы

Table 7

Properties of vulcanizates based on rubbers of general purpose for a filling cord with additives of organic part of oil sludge and Tengiz sulfur

Наименование показателей	Образец	Исследуемые варианты				
		1-в	2-в	3-в	4-в	5-в
Условная прочность при растяжении, кгс/см ² , не менее	92	107	104	109	111	111
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	270	270	300	310	310	295
Твердость, по Шору А., усл. ед.	70	75	77	77	78	75

Незначительное снижение прочностных показателей и повышение эластических свойств резин при увеличении дозировки ОЧН может быть объяснено механизмом пластифицирующего действия низкомолекулярных соединений органической части нефтешлама, которые проникают между макромолекулами и снижают межмолекулярное взаимодействие макромолекул каучука. Незначительное снижение прочностных свойств резин наполнительного крыла не принципиально, так как основную прочность конструкции бортовых крыльев придают бортовые кольца из латунированной проволоки. Применение же тенгизской серы позволило сохранить кинетику вулканизации, которая могла бы снизиться при применении ОЧН, и повысить твердость резин, что необходимо для повышения жесткости борта автопокрышки.

Таким образом, результаты расширенных испытаний показали возможность замены традиционно используемых в резиновых смесях мягчителей на органическую часть нефтешлама и использования тенгизской серы в виде вулканизирующего агента. Это позволит решить экологические проблемы хранения и рационального использования отходов нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий Республики Казахстан.

Библиографические ссылки

1. *Нади́ров Н. К.* Тенгиз – море нефти, море проблем. Алматы, 2003.
2. *Нади́ров Н. К.* Нефть и газ Казахстана. 2-НТ. Алматы, 1996.
3. *Сорокин Я. Г.* Безотходное производство в нефтеперерабатывающей промышленности. М., 1983.
4. *Ермаков В. В., Сухонослова А. Н., Быков Д. Е., и др.* Исследование зависимости класса опасности нефтесодержащих отходов от их состава // Нефтегазовые и химические технологии: сб. науч. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. Самара, 2008.
5. *Мазлова Е. А., Меццержаков С. В.* Экологические характеристики нефтяных шламов // Химия и технология топлив и масел. 1999. № 1. С. 40–42.
6. *Онгарбаев Е. К., Мансуров З. А.* Нефтяные отходы и способы их утилизации. Алматы, 2003.
7. *Зайнуллин Х. Н., Минигазимов Н. С., Расветалов В. А.* Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов. Уфа, 1999.
8. *Позднышев Г. Н.* Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. М., 1982.
9. *Минигазимов Н. С., Расветалов В. А., Зайнуллин Х. Н.* Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов. Уфа, 1999.
10. *Sakibayeva S., Zhantasova U., Orazymbetova A., et al.* Application of oil sludge as multifunctional rubber ingredient: International Conference of Industrial Technologies and Engineering (ICITE 2016). Шымкент, 2016.
11. *Сакибаева С. А., Белобородова А. Е., Дыгай Л. В. и др.* Применение органической части нефтешламов в рецептуре резиновых смесей для рельсовых прокладок // Нефть и газ. 2015. № 3 (87). С. 103–111.
12. *Turebekova G. Z., Pusuromanova G. J., Sakibaeva S. A., et al.* Prospects for the use of waste oil production and refining – sulfur in the production of technical rubbers // Innovation – 2015: Materials of international scientific-technical conference (Tashkent, 23–24 Oct. 2015). Tashkent, 2015.
13. *Turebekova G. Z., Shapalov Sh., Sakibayeva S. A., et al.* Application of oil industry wastes (sludges and sulfur) in rubber production // «Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук». 2016. № 6 (420). С. 185–188.

References

1. Nadirov N. K. [Tengiz – sea of oil, sea of problems]. Almaty, 2003 (in Russ.).
2. Nadirov N. K. [Oil and gas of Kazakhstan. 2-NT]. Almaty, 1996 (in Russ.).
3. Sorokin Ya. G. [Wasteless production in the oil refining industry]. Moscow, 1983 (in Russ.).

4. Ermakov V. V., Sukhonosova A. N., Bykov D. E., et al. Investigation of the dependence of the oil-containing waste hazard class on their composition. *Oil and gas and chemical technologies: Sat. sci. tr. All-Russian scientific-practical conference*. Samara, 2008 (in Russ.).
5. Mazlova E. A., Meshcheryakov S. V. Ecological characteristics of oil sludge. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 1999. No. 1. P. 40–42 (in Russ.).
6. Ongarbayev E. K., Mansurov Z. A. [Oil waste and ways of their utilization]. Almaty, 2003 (in Russ.).
7. Zainullin Kh. N., Minigazimov N. S., Rasvetalov V. A. [Utilization and neutralization of oily waste]. Ufa, 1999 (in Russ.).
8. Pozdnieshev G. N. [Stabilization and destruction of oil emulsions]. Moscow, 1982 (in Russ.).
9. Minigazimov N. N., Rasvetov V. A., Zainullin. H. N. [Utilization and neutralization of oily wastes]. Ufa, 1999 (in Russ.).
10. Sakibayeva, S., Zhantasova U., Orazymbetova A., et al. *Application of oil sludge as multifunctional rubber ingredient* : International Conference of Industrial Technologies and Engineering (ICITE 2016). Shymkent. 2016 (in Russ.).
11. Sakibaeva S. A., Beloborodova A. E., Dygai L.V., et al. Application of organic part of oil sludge in the formulation of rubber compounds for rail pads. *Oil and gas*. 2015. No. 3 (87), P. 103–111 (in Russ.).
12. Turebekova G. Z., Pusurmanova G. J., Sakibaeva S. A., et al. Prospects for the use of waste oil production and refining – sulfur in the production of technical rubbers. *Innovation – 2015: Materials of international scientific-technical conference (Tashkent, 23–24 Oct. 2015)*. Tashkent, 2015. P. 51–53.
13. Turebekova G. Z., Shapalov Sh., Sakibayeva S. A., et al. Application of oil industry wastes (sludges and sulfur) in rubber production. *Proceedings of NAS RK. Ser. of Geology and Engineering Sciences*. 2016. No. 6 (420). P. 185–188

Статья поступила в редколлегию 27.11.2017
Received by editorial board 27.11.2017

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

<i>Талецкая Н. Н.</i> Профессиональная подготовка будущих учителей в системе высшего образования для устойчивого развития в Германии.....	4
<i>Шушунова Т. Н.</i> Категория здоровья в истории развития социогуманитарного знания.....	11

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Иванов Е. С., Черная В. В., Позняк С. С., Кочуров Б. И.</i> Экологическое ресурсоведение как новое научное направление.....	17
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Мельникова Т. В., Полякова Л. П., Удалова А. А.</i> Оценка биологической активности радиационных метаболитов различных хлороорганических пестицидов.....	27
<i>Тананаев И. Г., Авраменко В. А.</i> Радиационная безопасность Дальнего Востока: проблемы и решения.....	33

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Бакунович А. В., Буланова К. Я., Лобанок Л. М.</i> Молекулярные механизмы агрегации тромбоцитов.....	40
<i>Омельченко К. В., Полумбрик М. О., Литвяк В. В., Батян А. Н., Кравченко В. А.</i> Инновационный способ йодирования продуктов питания путем введение новых йодсодержащих функциональных добавок.....	52
<i>Петренко С. В., Дардынская И. В., Леушев Б. Ю., Мохорт Т. В., Коломиец Н. Д., Федоренко Е. В., Мохорт Е. Г., Бартошевич О. А.</i> Динамика йодного обеспечения и показателей тироидной системы в группах риска по йододефициту в сельских регионах Беларуси.....	63

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Головатый С. Е., Савченко С. В., Самусик Е. А.</i> Кадмий, цинк и свинец в почвах в зоне воздействия промышленных предприятий.....	70
<i>Кочмар И. Н., Карабын В. В.</i> Экологические аспекты геохимии марганца в зоне техногенеза отвалов угольных шахт.....	81
<i>Кресова Е. В., Кужелко Д. Ю., Кундас С. П.</i> Исследование теплопотерь индивидуального жилого дома, построенного с применением местных теплоизоляционных материалов.....	92
<i>Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Алещенкова З. М., Коломиец Э. И., Белый П. Н., Николайчук А. М., Вашкевич М. Н., Савосько И. В.</i> Влияние минеральных и микробных удобрений на параметры плодоношения и содержание органических кислот в плодах голубики на выработанном участке торфяного месторождения на севере Беларуси.....	100
<i>Туребекова Г. З., Пусурманова Г. Ж., Сакибаева С. А., Сагитова Г. Ф., Дайрабаева А. Ж., Досбаева А. М.</i> Утилизация и вторичное использование отходов нефтедобычи и нефтепереработки в производстве резины.....	107

CONTENTS

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

- Taletskaya N. N.* Professional training of future teachers in higher education for sustainable development in Germany..... 5
- Shushunova T. N.* The category of health in the history of development of social and humanitarian knowledge..... 11

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

- Ivanov E. S., Chernaya V. V., Pazniak S. S., Kochurov B. I.* Environmental resource studies as a new scientific direction 18

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

- Melnikova T. V., Polyakova L. P., Oudalova A. A.* Biological activity estimation of radiation metabolites of different organochlorinated pesticides.....28
- Tananaeva I. G., Avramenko V. A.* Radiation security of the Far East: problems and solutions.....33

MEDICAL ECOLOGY

- Bakunovicha A. V., Bulanovaa K. Y., Lobanokb L. M.* Molecular mechanisms of platelet aggregation..... 41
- Omelchenko C. V., Polumbryk M. O., Litvyak V. V., Batian A. N., Kravchenko V. A.* An innovative way of iodization of food products through the introduction of a new iodine-containing functional additives..... 53
- Petrenko S. V., Dardynskaia I. V., Yurievich L. B., Mokhort T. V., Kolomietz N. D., Fedorenko E. V., Mokhort E. G., Bartoshevich O. A.* Iodine supplementation and thyroid status in iodine deficient risk groups in rural regions of Belarus in 1999–2016..... 64

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

- Golovatyi S. E., Savchenko S. V., Samusik E. A.* Cadmium, zinc and lead in soils in the zone of influence of the industrial enterprises..... 71
- Kochmar I. N., Karabyn V. V.* Ecological aspects of manganese geochemistry in the zone of mining waste heaps technogenesis..... 81
- Kresava A. V., Kuzhelka D. Yu., Kundas S. P.* Study of the heat loss of an individual house built with the use of local thermal insulation materials 92
- Rupasova Z. A., Yakovlev A. P., Aleschenkova Z. M., Kolomiets E. I., Bely P. N., Nikolaichuk A. M., Vashkevich M. N., Savosko I. V.* Influence of mineral and microbial fertilizers on fruiting parameters and the content of organic acids in the fruits of blueberry on opencast peatland in conditions of the north of Belarus..... 101
- Turebekova G. Z., Pusurmanova G. Zh., Sakibayeva S. A., Sagitova G. F., Dairabayeva A. Zh., Dosbayev A. M.* Utilization and secondary use of waste oil and oil refining in the production of rubber..... 108

Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, сельскохозяйственным и техническим (экология) наукам.

Журнал включен в библиографическую базу данных научных публикаций «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

**Журнал Белорусского
государственного университета. Экология.
№ 4. 2017**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
220030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1, каб. 205-2, 302,
220070, Минск.
Тел. 398-89-34, 398-93-44.
E-mail: bulletin@iseu.by

«Журнал Белорусского государственного
университета. Экология» издается с сентября 2017 г.
До августа 2017 г. выходил под названием
«Экологический вестник»
(ISSN 1994-2087).

Редакторы *Л. М. Корневская, Т. А. Лавринович*
Технический редактор *Д. В. Головач*
Корректор *А. В. Красуцкая*

Подписано в печать 15.12.2017.
Тираж 100 экз. Зак. 526.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

© БГУ, 2017

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 4. 2017**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: Nezavisimosti ave., 4, 220030, Minsk.
Correspondence address: Dolgobrodskaya str., 23/1, office 205-2, 302,
220070, Minsk.
Tel. 398-89-34, 398-93-44.
E-mail: bulletin@iseu.by

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»
published since September, 2017.
Until August, 2017 named «Ekologicheskii vestnik»
(ISSN 1994-2087).

Editors *L. M. Korenevskaya, T. A. Lavrinovich*
Technical editor *D. V. Golovach*
Proofreader *A. V. Krasutsкая*

Signed print 15.12.2017.
Edition 100 copies. Order number 526.

RUE "Information Computing Center of the Ministry
of Finance of the Republic of Belarus".
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.
Kalvaryjskaya str., 17, 220004, Minsk.

© BSU, 2017