



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

1

2026

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

РОДЬКИН О. И. – доктор биологических наук, доцент; директор Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
E-mail: info@iseu.by

**Заместитель
главного
редактора**

ГЕРМЕНЧУК М. Г. – кандидат технических наук, доцент; заместитель директора по научной работе Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
E-mail: germenchuk@iseu.by

**Ответственный
секретарь**

ЛОЗИНСКАЯ О. В. – старший преподаватель кафедры общей биологии и генетики Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
E-mail: aromia@rambler.ru

Батян А. Н.

Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Головатый С. Е.

Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Голубев А. П.

Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Гричик В. В.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Дардынская И. В.

Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.

Дзятковская Е. Н.

Институт стратегии развития образования Российской академии образования, Москва, Россия.

Дроздович В. В.

Национальный институт рака, США, Бетесда.

Зафранская М. М.

Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Кильчевский А. В.

Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.

Коноплев А. В.

Институт радиоактивности окружающей среды университета г. Фукусима, Япония.

Коровин Ю. А.

Обнинский институт атомной энергетики – Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Обнинск, Россия.

Ленгфельдер Э.

Радиологический институт здоровья и окружающей среды им. Отто Хуга, Мюнхен, Германия.

Либерамос Г.

Афинский технический университет, Афины, Греция.

Линге И. И.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия.

Лукашенко С. Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия.

Логинов В. Ф.

Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.

Медведев С. В.

ГНУ «Объединенный институт проблем информатики» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.

Набиев И. Р.

Реймский университет, Франция, Реймс.

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 им. Н. Н. Александрова», Минск, Беларусь.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief	RODZKIN O. I. , doctor of science (biology), docent; International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: info@iseu.by
Deputy editor-in-chief	GERMENCHUK M. G. , PhD (engineering), docent; deputy director for research of the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: germenchuk@iseu.by
Executive secretary	LOZINSKAYA O. V. , senior lecturer at the department of general biology and genetics of the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University. E-mail: aromia@rambler.ru
<i>Batyan A. N.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Golovaty S. E.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Golubev A. P.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Grichik V. V.</i>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Dardynskaya I. V.</i>	Great Lakes Center for Occupational and Environmental Safety and Health, Chicago, USA.
<i>Dziatkovskaya E. N.</i>	Institute of Education Development Strategy of the Russian Academy of Education, Moscow, Russia.
<i>Drozdovitch V. V.</i>	Radiation Epidemiology Branch, DCEG (Division of Cancer Epidemiology and Genetics), National Cancer Institute, Bethesda MD.
<i>Zafranskaya M. M.</i>	International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Kilchevsky A. V.</i>	National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Konoplev A. V.</i>	Environmental Radioactivity Institute, Fukushima University, Japan.
<i>Korovin Y. A.</i>	Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia.
<i>Lengfelder E.</i>	Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munich, Germany.
<i>Lyberatos G.</i>	Athens Technical University, Athens, Greece.
<i>Linge I. I.</i>	Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
<i>Lukashenko S. N.</i>	Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia.
<i>Loginov V. F.</i>	National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Medvedev S. V.</i>	The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
<i>Nabiev I. R.</i>	University of Reims Champagne-Ardenne (URCA), France.
<i>Stepanov S. A.</i>	International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
<i>Stozharov A. N.</i>	Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
<i>Tarutin I. G.</i>	N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.

К 40-ЛЕТИЮ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

TO THE 40th ANNIVERSARY OF THE CHERNOBYL DISASTER



26 апреля 2026 г. исполняется сорок лет со дня Чернобыльской катастрофы – крупнейшей радиационной аварии XX в. Это не просто календарная дата, а повод для осмысления пройденного пути, анализа усилий и извлеченных уроков.

Последствия Чернобыльской катастрофы затронули людей, окружающую среду и экономику: 31 человек, погибший от острого лучевого поражения или ожогов; 134 человека, переболевших острой лучевой болезнью той или иной степени тяжести; 50 млн кюри активности, выброшенных из разрушенного реактора и выпавших затем из радиоактивного облака на территорию современных Беларуси, Украины, России и многих европейских государств, загрязнив на многие десятилетия почву, фауну и флору регионов; более 115 тыс. человек, лишившихся родных мест в результате эвакуации из 30-километровой зоны; сотни тысяч отселенных жителей; гигантские

и не всегда эффективные усилия по дезактивации; дополнительное облучение вследствие «йодного удара»; тяжелейшее психологическое бремя, которое легло на плечи миллионов людей.

Историю преодоления катастрофы можно условно разделить на несколько ключевых этапов. Первый – «горячая» фаза ликвидации в период СССР, когда руководство работами осуществлялось централизованно, а научную поддержку оказывали ведущие академические институты страны. С обретением в 1991 г. Республикой Беларусь независимости вся тяжесть минимизации и ликвидации последствий на территориях, составлявших почти четверть страны, легла на белорусское государство. Нашей стране предстояло создавать целостную национальную систему радиационной безопасности и защиты населения.

Второй этап стал временем становления: создавались специализированные государственные органы, продолжалось формирование научной базы и научных школ в области радиоэкологии, радиобиологии, сельскохозяйственной и лесной радиологии. Работы приобрели программно-целевой характер. С 1990 г. реализовано шесть последовательных государственных программ, охвативших все сферы – от радиационного контроля и защитных мер в агро- и лесопромышленном комплексе до социально-экономической реабилитации регионов и медицинского сопровождения населения. Выстроена действенная система радиационного мониторинга, контроля пищевых продуктов, защитных мер в сельском хозяйстве (специальная агротехника, мелиорация, переспециализация), создана сеть детских реабилитационно-оздоровительных центров.

Третий этап – переход от стратегии «ликвидации» к стратегии «устойчивого развития» пострадавших регионов. Благодаря масштабным усилиям эти территории постепенно вернулись к нормальной жизни. Сегодня их социально-экономические показатели сопоставимы с другими регионами страны. Акцент сместился на совершенствование управления, сохранение накопленных знаний и реализацию программ регионального развития с учетом радиационного фактора.

Значимым и символическим шагом, демонстрирующим трансформацию «чернобыльского опыта» из груза прошлого в ресурс на будущее, стало решение о развитии в Беларуси собственной атомной энергетики. Уроки Чернобыля легли в основу новой национальной культуры ядерной и радиационной безопасности. Создана вся необходимая инфраструктура: регулирующий орган, сформирована система ядерного права, выстроены инструменты лицензирования и надзора.

В стране реализован проект АЭС, в основу которого положены как постчернобыльские принципы глубокоэшелонированной защиты и «практического исключения» тяжелых аварий, так и постфукусимские уроки о готовности к низковероятностным событиям и их сочетаниям.

Белорусский путь от Чернобыля к собственной атомной станции – это история развития от стресса столкновения с немирным атомом, последующей реализацией мероприятий по преодолению последствий аварии к созданию отрасли радиационной безопасности. Полученный опыт явился систематизированной основой для взвешиваемых решений по развитию новой атомной отрасли в стране.

Главный вывод этого сорокалетнего опыта можно сформулировать так: ядерная энергия требует высочайшей ответственности и профессионализма, основывающихся на реализации принципов культуры безопасности, постоянного совершенствования и повышения уровня защиты, учитывая технические, организационные и человеческий факторы.

*Начальник Департамента
по ядерной и радиационной безопасности
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,
кандидат физико-математических наук
Ольга Михайловна Луговская*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 614.876

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

Н. Я. БОРИСЕВИЧ¹⁾

¹⁾Центр по ядерной и радиационной безопасности,
ул. Шпилевского, 59-7Н, 220067, г. Минск, Беларусь

Проанализирована динамика развития системы информирования населения в Республике Беларусь после чернобыльской аварии. Отмечено, что недооценка информационной работы в первые годы имела серьезные последствия. Так, режим секретности, дефицит достоверной информации создали основу для появления панических настроений, чернобыльских мифов, привели к появлению радиофобии. Переход к системному информированию осуществлен в начале 2000-х годов. Разработана «Концепция информирования населения и органов государственного управления по проблемам чернобыльской катастрофы». Дальнейшее развитие информационная работа получила в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2006–2010 гг. и Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на аналогичный период. Создана национальная структура для координации информационной работы – Белорусское отделение Российско-Белорусского информационного центра по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. В Государственную программу по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г. включен отдельный раздел – «Совершенствование информационной работы». Разработана «Комплексная система информационного обеспечения в области преодоления последствий катастрофы».

Образец цитирования:

Борисевич НЯ. Становление и развитие системы информирования населения Беларуси после чернобыльской катастрофы. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;1:6–12.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-6-12>

For citation:

Barysevich MYa. Formation and development of the system of informing the population of Belarus after the chernobyl disaster. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;1:6–12. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-6-12>

Автор:

Николай Ярославович Борисевич – кандидат биологических наук; заведующий отделом научно-организационного сопровождения и информационно-аналитической работы.

Author:

Mikalai Ya. Barysevich, PhD (biology); head of the department of scientific and organizational support and information and analytical work.
rbic2018@yandex.by

на Чернобыльской АЭС». Значимый вклад в развитие информационной работы внесла Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 г. Реализован ряд инновационных проектов. На современном этапе аспекты радиационной защиты постепенно перестают быть приоритетными в сравнении с другими направлениями – социальными, экономическими и психологическими. Акцент смещается в сторону социально-реабилитационной политики, развития социальной активности граждан.

Ключевые слова: чернобыльская катастрофа; пострадавшие территории; информационная политика; радиационная безопасность; радиоэкологическая культура; социальная активность.

FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF INFORMING THE POPULATION OF BELARUS AFTER THE CHERNOBYL DISASTER

M. Ya. BARYSEVICH^a

*^aCenter for Nuclear and Radiation Safety,
59-7H Shpileŭskaga Street, Minsk 220067, Belarus*

The dynamics of the development of the public information system in the Republic of Belarus after the Chernobyl accident is analyzed. It is noted that underestimating information efforts in the early years had serious consequences. Thus, the secrecy regime and the lack of reliable information created the basis for panic, Chernobyl myths, and led to the emergence of radiophobia. The transition to a systemic information system was implemented in the early 2000s. The «Concept for Informing the Public and Government Bodies on the Problems of the Chernobyl Disaster» was developed. Information efforts were further developed within the framework of the State Program for Overcoming the Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster for 2006–2010 and the Program for Joint Activity of Belarus and Russia in Overcoming the Consequences of the Chernobyl Disaster for the same period. The national structure for coordinating information efforts was created – the Belarusian Branch of the Russian-Belarusian Information Center on the Consequences of the Chernobyl NPP Disaster. The State Program for Mitigating the Consequences of the Chernobyl NPP Disaster for 2011–2015 and for the Period up to 2020 includes a separate section entitled «Improving information efforts». Comprehensive Information Support System for Mitigating the Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster was developed. The Program for Joint Activity of Belarus and Russia in Overcoming the Consequences of the Chernobyl Disaster for the Period up to 2016 made a significant contribution to the development of information efforts. A number of innovative projects have been implemented. Currently, radiation protection is gradually losing its priority over other areas – social, economic, and psychological. The emphasis is shifting towards the social rehabilitation policies and the development of social engagement among citizens.

Keywords: chernobyl disaster; affected territories; information policy; radiation safety; radioecological culture; social activity.

Введение

Несмотря на то что с момента катастрофы на Чернобыльской АЭС прошло 40 лет, информирование населения об особенностях жизнедеятельности на загрязненных радионуклидами территориях сохраняет актуальность. Согласно ст. 6 Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности», одним из элементов системы обеспечения радиационной безопасности является информирование населения о радиационной обстановке и мерах по обеспечению радиационной безопасности.

В начальный период после чернобыльской аварии основное внимание государства было сосредоточено на первоочередных проблемах минимизации ее последствий: переселение людей из опасных для проживания мест, дезактивация социально значимых объектов, создание систем радиационного контроля, медицинской и социальной защиты, разработка и внедрение контрмер в сельском и лесном хозяйстве. На этом этапе информационная работа с населением не входила в число приоритетных. Основным источником информации были СМИ, которые не всегда объективно отражали реальную ситуацию.

Недооценка информационной работы в первые годы после аварии имела серьезные последствия. Так, режим секретности, дефицит достоверной информации и ее неполнота, тенденциозные публикации в СМИ создали почву для появления панических настроений, различных домыслов и слухов о последствиях аварии, привели к появлению радиофобии. До настоящего времени у части населения сохраняется недоверие к официальной информации о реальной радиационно-экологической обстановке на территориях радиоактивного загрязнения, последствиях для здоровья. Сформировавшиеся чернобыльские стереотипы и мифы о радиационной опасности прочно укоренились в сознании людей.

Возникшие после катастрофы ложные представления, например, «вся продукция, произведенная на пострадавших территориях, грязная»; «причиной всех болезней является радиация», «находиться на

загрязненной территории небезопасно для здоровья» и др. показали устойчивость, «живучесть» стереотипов. Уже в 2000-х гг. такие стереотипы поведения международные эксперты стали расценивать как серьезное препятствие на пути к вовлечению населения в процесс реабилитации пострадавших территорий. Пример одного из них – отношение к пищевым продуктам, произведенным в пострадавших регионах. Некоторые и сегодня относятся к ним настороженно и сознательно делают свой выбор в пользу продукции, поставляемой из других регионов, несмотря на наличие сертификатов, подтверждающих проведение радиационного контроля. Подобным отношением формируется имидж пострадавших районов как «чернобыльской зоны».

Неадекватное восприятие радиационного риска порождает как психические расстройства, так и соматические болезни. Как отмечено в материалах Международного Чернобыльского форума ООН 2003–2005 гг., наиболее серьезной проблемой общественного здравоохранения, вызванной аварией, представляются ее последствия для психического здоровья [1]. В этой же публикации сделан вывод о том, что, в отличие от контрольных групп, среди групп населения, подвергшихся облучению, отмечались симптомы стресса, повышенные уровни депрессии и беспокойства (в том числе симптомы посттравматического стресса). Такие субклинические симптомы оказывали большое влияние на поведение, например, на курение, употребление алкоголя и другие факторы, связанные с образом жизни. В связи с этим в материалах Чернобыльского форума отмечено, что «следует предпринять новые усилия в области информирования о рисках, предоставляя общественности и ведущим специалистам точную информацию о медицинских и касающихся психического здоровья последствиях этой катастрофы».

В докладе Научного комитета ООН по действию атомной радиации 2008 г. [2] также отмечается, что в случае чернобыльской аварии известны масштабные эффекты, не являющиеся результатом воздействия радиации. К ним относятся последствия, связанные с беспокойством относительно будущего и угнетенным состоянием, а также вытекающими отсюда изменениями образа жизни, которые не обусловлены реальным радиационным воздействием.

Переселение больших групп людей и осуществление активных запретительных мер в условиях недостатка информации породило стрессогенную ситуацию, главными проявлениями которой были растерянность, непонимание смысла действий властей, чувство неуверенности, страха и радиотревожности перед возможной угрозой своему здоровью. Все эти факторы послужили основой такого явления, как стигматизация. Словесные ярлыки, или стигмы, которые часто стали использоваться в обиходе, масс-медиа, официальных сообщениях («чернобылец», «пострадавший», «переселенец», «ликвидатор» и т. д.), инициировали механизмы приспособления, связанные с получением выгоды из сложившейся ситуации. У населения сформировалась так называемая «рентная установка» (поведение, направленное на получение выгоды из своего неблагоприятного положения, возникающее на фоне необоснованной помощи), которая оказалась довольно устойчивой.

Социологические исследования, проведенные в Беларуси, России и Украине в рамках проекта «Международная исследовательская и информационная сеть по Чернобылю» (International Chernobyl Research and Information Network, ICRIN) в 2003–2004 гг. [3], подтвердили необходимость поиска новых путей информирования населения. Результаты опросов тысяч жителей загрязненных районов показали, что они не имеют достоверных представлений относительно воздействия ионизирующего излучения на здоровье и окружающую среду. Анализ уровня информированности показал, что потребности населения в информации об особенностях проживания на территориях радиоактивного загрязнения удовлетворяются только на 1/3.

Несмотря на наличие и распространение достоверной информации, ложные представления об угрозе радиации оказывают негативное влияние на поведение людей. Это выражается как в чрезмерной осторожности (постоянное беспокойство о состоянии здоровья), так и в полной беспечности (употребление в пищу грибов, ягод и дичи из сильно загрязненных районов). Эти данные нашли подтверждение в докладах Беларуси, России и Украины, подготовленных в рамках данного проекта.

Переход к системному информированию населения и специалистов по чернобыльской тематике осуществлен в начале 2000-х гг. В целях развития системы информирования населения на региональном уровне начали создаваться постоянно действующие экспозиции «Преодоление последствий чернобыльской катастрофы в районе». Ежегодно, начиная с 2003 г., в Минске, Гомеле, Могилеве стали проводиться республиканские семинары по обмену опытом работы и обсуждению новых подходов к вопросам информирования.

В 2003 г. в Республике Беларусь разработана и принята «Концепция информирования населения и органов государственного управления по проблемам чернобыльской катастрофы» (в 2005 г. концепция переработана и дополнена) [4]. Концепция направлена на создание системы информирования, основанной на скоординированном взаимодействии органов государственного управления, местных исполнительных и распорядительных органов, использовании для распространения информации существующих структур

в системах образования, здравоохранения, СМИ. Реализация Концепции информирования проводилась с участием организаций районного, областного, республиканского административных уровней на основании ежегодных планов. В 2005 г. разработана «Стратегия информационной работы на основе современных компьютерных технологий» [4].

Дальнейшее становление, развитие и практическая отработка новых подходов ведения информационной работы по чернобыльской тематике, создание в пострадавших районах Брестской, Гомельской и Могилевской областей условий и средств для активизации участия местных специалистов в информационной работе, развитие стратегических и концептуальных основ данной деятельности, элементов ее методологического сопровождения происходило в рамках реализации Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2006–2010 гг. и Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006–2010 гг. Были разработаны чернобыльские электронные информационные ресурсы, апробированы на практике тематические информационные, просветительские, обучающие акции и мероприятия.

Сформирован основной задел в создании местных информационных структур и ресурсов чернобыльской направленности в пострадавших районах. В качестве опорной базы на местах созданы: 21 информационная точка в райисполкомах наиболее пострадавших районов (программно-аппаратный комплекс с тематическим электронным информационным ресурсом); 8 информационных точек администрации зон отчуждения и отселения, сотрудники которых ведут работу по разъяснению населению правил посещения и нахождения в этих зонах; 19 информационно-методических кабинетов «Радиационная безопасность и основы безопасной жизнедеятельности» на базе учреждений образования, оснащенных радиометрами и дозиметрами, мультимедийным оборудованием, учебно-методическими и информационными материалами. Выбор учреждений образования для размещения информационно-методических кабинетов обусловлен тем, что дети и молодежь являются наиболее восприимчивой целевой группой к усвоению знаний о безопасности жизнедеятельности на загрязненной радионуклидами территории и в дальнейшем выступают проводниками в передаче информации взрослым. Таким образом, информационно-методические кабинеты выполняют двойную функцию: учебного класса для развития практической радиоэкологической культуры и информационной структуры для работы с местным населением.

Разработан и передан в 21 наиболее пострадавший район комплексный электронный информационный ресурс по чернобыльской тематике, в котором представлены различные материалы, подобранные с учетом особенностей каждого района; организовано информационное сотрудничество с редакциями районных газет; обеспечено организационное сопровождение деятельности местных «чернобыльских» информационных структур.

Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006–2010 гг. стала первой из чернобыльских программ, в которую был включен раздел «Реализация общей информационной политики по проблемам преодоления последствий чернобыльской катастрофы». Этот факт говорит о понимании значимости информационной работы. В рамках программы в 2007 г. в Минске создано Белорусское отделение Российско-Белорусского информационного центра по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (БОРБИЦ) – национальная структура для координации информационной работы по чернобыльской тематике – осуществлявшая свою деятельность во взаимодействии с Департаментом по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС Республики Беларусь.

В этот период апробирована система проведения тематических мероприятий для различных целевых групп: семинаров-консультаций для специалистов районного уровня (врачей, педагогов, журналистов); информационно-просветительских мероприятий (интернет-акций, приуроченных к годовщинам чернобыльской катастрофы, пресс-туров журналистов в пострадавшие районы). Обобщен опыт социально-психологической реабилитации и адаптации населения, проживающего на пострадавших территориях.

С 2009 г. организован периодический выпуск журнала «Возрождаем родную землю», печатный тираж которого направлялся в органы управления, облисполкомы наиболее пострадавших областей, в райисполкомы и местные организации наиболее пострадавших районов. Созданы выставочные экспозиции «Возрождаем родную землю вместе», «Чернобыль и Беларусь: прошлое, настоящее, будущее» (ориентированная на зарубежную аудиторию), тематический интернет-сайт.

Перечисленный комплекс мероприятий позволил сформировать предпосылки перехода к системной работе с опорой на местные информационные структуры и ресурсы пострадавших районов, определить стратегию информационной деятельности по чернобыльской тематике на период после 2010 г., пересмотреть имеющиеся и разработать новые концептуальные документы.

В развитие «Концепция информирования» в 2011 г. разработан и принят очередной документ – Комплексная система информационного обеспечения в области преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (далее – КСИО) [5]. Цель КСИО – системное информационное обеспечение

республиканских органов государственного управления, местных исполнительных и распорядительных органов о реализации государственной политики в области преодоления последствий чернобыльской катастрофы, содействие формированию активной жизненной позиции населения, нацеленной на возрождение и развитие пострадавших от чернобыльской катастрофы территорий, формирование практической радиологической культуры, позитивного отношения к пострадавшим районам со стороны населения загрязненных территорий Республики Беларусь и мирового сообщества. В этом документе наиболее полно отражена роль государственных органов, система их взаимодействия в сфере информационного сопровождения решения задач возрождения и социально-экономического развития пострадавших территорий. В реализации КСИО было задействовано более 50 организаций республиканского, областного и районного уровней. Ежегодно разрабатывался и утверждался республиканский план мероприятий по осуществлению информационной работы, в реализации которого участвовали органы государственного управления, иные государственные организации, занимающиеся решением проблем последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

После принятия очередной, пятой по счету Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г., масштабно начал реализовываться курс на возрождение и развитие пострадавших территорий. Информационная работа по чернобыльской тематике активизировалась и получила дальнейшее развитие. В данную Госпрограмму впервые был включен раздел «Совершенствование информационной работы», содержащий следующие направления:

- информационное обеспечение в области преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, включая демонстрацию деятельности государства по возрождению пострадавших территорий на местном, национальном и международном уровнях;
- информационное обеспечение населения пострадавших районов, включая детей и молодежь, по вопросам формирования радиэкологической культуры и навыков безопасного проживания на территории радиоактивного загрязнения;
- координация деятельности местных «чернобыльских» информационных структур и оптимизация их функционирования на основе развития единой информационной сети и электронных информационных ресурсов;
- издание и распространение печатных и мультимедийных материалов по основным аспектам чернобыльской катастрофы для различных целевых групп;
- организация и проведение мероприятий к годовщинам чернобыльской катастрофы, включая республиканскую благотворительную акцию «Рождественская елка – наши дети» и социально-творческую программу «В будущее – с надеждой».

В дополнение к мероприятиям практического характера предусматривалось научное сопровождение информационной работы: разработка и апробация элементов адресной информационной работы с различными группами населения и категориями специалистов территорий радиоактивного загрязнения на основе данных о степени их информированности и восприятии радиационной опасности.

В результате обеспечены координация, информационно-методическое сопровождение, мониторинг деятельности местных «чернобыльских» информационных структур и оптимизация их функционирования на основе развития единой информационной сети и электронных информационных ресурсов.

Для представителей информационных структур организовано ежегодное проведение обучающих семинаров по развитию их деятельности, направленной на формирование культуры безопасности жизнедеятельности на территориях радиоактивного загрязнения.

Наиболее эффективными оказались интерактивные формы информирования – информационно-творческие акции, наглядное представление информации – презентации, выставки, содержащие конкретную информацию о районах и людях, живущих в них.

Итогом такого подхода являются следующие реализованные проекты:

- интернет-акция «Облако утвердительных мыслей» (цель – популяризация темы возрождения пострадавших территорий в общественном национальном сознании);
- интернет-акция «Зажги свечу памяти» (цель – дань памяти тем, кто ценою своей жизни и здоровья ликвидировал последствия аварии);
- информационно-творческие акции в формате интеллектуальной игры (брейн-ринги) «Молодежь – возрождению после Чернобыля» (цель – формирование радиэкологической культуры и навыков безопасной жизнедеятельности);
- пресс-туры журналистов, блогеров в пострадавшие районы, Полесский радиационно-экологический заповедник;
- проведение экскурсий для учащихся медицинских, сельскохозяйственных и педагогических учебных заведений Гомельской и Могилевской областей в пострадавшие районы (цель – изменение представления о ситуации в регионах, развитие инициативы молодежи);

– издание альбома о брендах экономики пострадавших в результате чернобыльской катастрофы районов «Экскурсия в возрождение» (цель – содействие формированию положительного имиджа этих районов как перспективных субъектов страны, раскрытию их инвестиционной привлекательности, достижению равноправного статуса с другими районами);

– выпуск иллюстрированного журнала по основам радиационной безопасности для детей младшего и среднего школьного возраста (цель – содействие развитию познавательной активности учащихся в области радиоэкологии, радиационной безопасности);

– проведение тематической выставки для детей «Пройди путем возрождения».

Разработан ряд информационных материалов (плакаты, памятки, буклеты) для различных категорий населения и специалистов, социально-радиационные паспорта Гомельской, Могилевской, Брестской обл. и 21 наиболее пострадавшего района.

Значимый вклад в развитие информационной работы, новых информационных технологий внесла Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства в период до 2016 г. Реализован ряд новых подходов к ведению информационной работы по чернобыльской тематике, интерактивных образовательных проектов (дистанционное онлайн-консультирование населения на базе российско-белорусского информационного интернет-портала с привлечением специалистов, интернет-акции для школьников, интеллектуальных конкурсов и брейн-рингов по тематике радиационной безопасности среди молодежи).

Разработана и апробирована на практике двухступенчатая модель коммуникации – система дистанционного консультирования и информирования населения. Согласно такому подходу, информирование осуществляется не непосредственно через средства массовой коммуникации, а дистанционно – через авторитетных для субъектов информирования и вызывающих у них наибольшее доверие (местных специалистов, ученых – лидеров общественного мнения). Неофициальные личностные коммуникации для людей часто более значимы, чем официальные сообщения СМИ.

Создана единая база методик по социально-психологической реабилитации для обеспечения информационно-психологической защиты населения радиоактивно загрязненных территорий России и Беларуси.

Разработан ряд методических рекомендаций: пособие по организации системы дистанционного консультирования и информирования населения радиоактивно загрязненных территорий; рекомендации по организации деятельности информационно-методических кабинетов по проблемам радиационной безопасности и основам безопасной жизнедеятельности населения; дистанционное консультирование и информирование специалистов и населения радиоактивно загрязненных территорий: теоретические и практические основы; методические рекомендации по организации и проведению учебного занятия по основам радиационной безопасности; рекомендации по организации волонтерского движения, объединяющего студентов педагогических и медицинских учебных заведений, учащихся старших классов, для работы с детьми и молодежью по формированию навыков безопасной жизнедеятельности на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению и др.

Очередной этап информационной работы был реализован с использованием ресурсов Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 гг. Стратегия информирования на данном этапе определялась основным государственным приоритетом в области преодоления последствий – курсом на возрождение и социально-экономическое развитие пострадавших регионов.

Действующая система построена на информировании местных жителей через специалистов райисполкомов, учреждений систем образования, здравоохранения, культуры, а также местных информационных структур.

В качестве опорной базы на местах действуют более 90 информационных точек и структур, что является особенностью системы информирования населения в республике. Проводимая работа позволила удовлетворить информационный спрос населения и специалистов в материалах по чернобыльской тематике. Периодические социологические опросы показали устойчивый рост уровня информированности граждан по вопросам безопасности жизнедеятельности на пострадавших территориях.

Трансформация государственных приоритетов в области преодоления последствий чернобыльской катастрофы и подходов к их реализации оказывает постоянное влияние на информационную работу в данной сфере. На современном этапе, в ситуации существующего облучения (когда основные дозы облучения жителями загрязненных районов уже получены) акцент сместился в сторону социально-реабилитационной политики, целью которой является преодоление социально-психологических последствий, изменение закрепившихся стереотипов, поведенческой модели и образа жизни. При этом не теряет актуальности и основной долговременный аспект информационно-просветительской работы – формирование культуры безопасности жизнедеятельности населения в условиях проживания на территории радиоактивного загрязнения.

Заключение

Таким образом, на основе анализа постчернобыльского опыта можно выделить следующие этапы деятельности по информированию населения:

1986–1990 гг. «Аварийное информирование», преобладание в СМИ негативной, часто тенденциозной и противоречивой информации.

1991–2000 гг. Переход функций государственного управления в сфере преодоления последствий чернобыльской катастрофы к Республике Беларусь после распада Советского Союза. Информирование с использованием ограниченных ресурсов, разовые мероприятия и акции.

2001–2010 гг. Разработка концептуальных документов, переход к системному информированию, апробация проведения тематических мероприятий для специалистов районного уровня.

2011–2016 гг. Развитие методологии, реализация адресных форм работы с различными целевыми группами населения и категориями специалистов, наработка практического опыта.

2017 – настоящее время. Плановая деятельность на основе наработанного опыта. Смещение акцента в информационной работе на развитие социальной активности граждан.

Библиографические ссылки

1. *Наследие Чернобыля: медицинские, экологические и социальноэкономические последствия и рекомендации правительствам Беларуси, Российской Федерации и Украины. Чернобыльский форум.* Вена: МАГАТЭ; 2006. 57 с.
2. *Последствия облучения для здоровья человека в результате чернобыльской аварии. Научное приложение D к докладу НКДАР ООН 2008 года Генеральной Ассамблее.* Вена: ООН; 2012. 173 с.
3. *Оценка информационных потребностей населения Республики Беларусь, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС. Отчет.* Минск: Юнипак; 2004. 60 с.
4. Концептуальные документы по информационной работе, связанной с чернобыльской тематикой. 2009 [Интернет, процитировано 11 февраля 2026]. URL: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/59d/59d7f4a9e3e1afa8a41a925685a4346d.doc>.
5. Комплексная система информационного обеспечения в области преодоления последствий катастрофы на ЧАЭС; 2011. [Интернет, процитировано 11 февраля 2026]. URL: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/355/35595aa12b69f2c9a93beed6eb2bbe0d.pdf>.

References

1. *Nasledie Chernobylya: meditsinskie, ekologicheskie i sotsialnoekonomicheskie posledstviya i rekomendatsii pravitelstvam Belarusi, Rossiiskoi Federatsii i Ukrainy* [The legacy of Chernobyl: health, environmental, and socioeconomic consequences and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation, and Ukraine. Chernobyl Forum]. Vienna: IAEA; 2006. 57 p. Russian.
2. *Posledstviya oblucheniya dlya zdorovya cheloveka v rezultate chernobylskoi avarii* [Health effects of radiation exposure from the Chernobyl accident]. Scientific Annex D to the 2008 UNSCEAR Report to the General Assembly. Vienna: UN; 2012. 173 p. Russian.
3. *Otsenka informatsionnykh potrebnostei naseleniya Respubliki Belarus, postradavshego ot katastrofy na Chernobylskoi AES. Otchet* [Assessment of the Information Needs of the Population of the Republic of Belarus Affected by the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster. Report]. Minsk: Unipak; 2004: 60 p. Russian.
4. Conceptual documents on information work related to the Chernobyl topic. 2009. [Internet, cited 2026 February 11]. Available from: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/59d/59d7f4a9e3e1afa8a41a925685a4346d.doc>.
5. Integrated information support system for overcoming the consequences of the Chernobyl disaster. 2011. [Internet, cited 2026 February 11]. Available from: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/355/35595aa12b69f2c9a93beed6eb2bbe0d.pdf>.

Статья поступила в редколлегию 15.02.2026.
Received by editorial board 15.02.2026.

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 574.24:576.08

ФИТОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ТЕРРИТОРИЙ ПО ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

О. В. ЛОЗИНСКАЯ¹⁾, З. Я. КНЯЗЕВА¹⁾

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

Анализируется значимость биологического контроля в системе мониторинга окружающей среды. Отмечается особая роль в программах биомониторинга поиска и использования биоиндикаторов, позволяющих достоверно оценивать экологическую ситуацию в зависимости от степени воздействия различных антропогенных факторов. Указывается способность некоторых видов растений и животных реагировать на генетическом и морфологическом уровнях на происходящие изменения, а также их пригодность для оценки различных территорий. Приводятся данные оценки экологического статуса территорий по цитогенетическим тест-реакциям (частоте aberrаций) фитоиндикатора – лука репчатого (*Allium cepa* L.), культивируемого на водных вытяжках почв естественных и антропогенно измененных территорий. Выявлен характер изменения биоиндикационных показателей в зависимости от элементного состава почв (присутствия тяжелых металлов и радионуклидов). Установлено, что почвы Березинского биосферного заповедника обладают слабым мутагенным эффектом: диапазон показателя частоты aberrаций от 9 до 13 %. Почвы реперных точек окрестностей БелАЭС обладают умеренным мутагенным эффектом – частота aberrаций составляла от 9 до 17 %.

Образец цитирования:

Лозинская ОВ, Князева ЗЯ. Фитоиндикационная оценка экологического статуса территорий по цитогенетическим показателям. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;1:13–23.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-13-23>

For citation:

Lozinskaya OV, Knyazeva ZYa. Application of cytogenetic indicators for bioindicative assessment of the environmental status of territories exposed to radiation. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;1:13–23. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-13-23>

Авторы:

Ольга Владиславовна Лозинская – старший преподаватель кафедры общей биологии и генетики.
Злата Ярославовна Князева – студентка, факультет экологической медицины.

Authors:

Olga V. Lozinskaya, senior lecturer at the department of general biology and genetics.
aromia@rambler.ru
Zlata Ya. Knyazeva, student, faculty of environmental medicine.
zlatakknyazeva@gmail.com

Наблюдаемая частота нарушений митоза лука репчатого, выращенного на почвах зоны отчуждения, находилась в диапазоне 20–29 %. Полученные данные свидетельствуют, что степень загрязненности почв исследуемых экологических разнотипных территорий радионуклидами определяет направленность процесса протекания митоза. Результаты проведенных исследований подтвердили состоятельность метода *Allium*-test для экологической оценки территорий и возможность его применения в системе мониторинга. На основании анализа результатов проведенных исследований выделены 3 экологически неравноценных территориальных кластера, различающихся степенью антропогенного влияния: первый – территория с радиационным загрязнением – ПГРЭЗ, второй – антропогенно-нарушенная территория – БелАЭС и третий – эталонная территория – Березинский биосферный заповедник с минимальным уровнем загрязнения.

Ключевые слова: фитоиндикаторы; *Allium cepa*; радионуклиды; хромосомные патологии; частота aberrаций (ЧА).

Благодарность. Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограммы «Радиация и биологические системы». Авторы выражают благодарность за организационную помощь старшему научному сотруднику Березинского биосферного заповедника А. О. Лукашуку, дирекции Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и Белорусской АЭС.

APPLICATION OF CYTOGENETIC INDICATORS FOR BIOINDICATIVE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL STATUS OF TERRITORIES EXPOSED TO RADIATION

O. V. LOZINSKAYA^a, Z. Ya. KNYAZEVA^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: O. V. Lozinskaya (aromia@rambler.ru)

The significance of biological control in the environmental monitoring system is analyzed. A special role is noted in biomonitoring programs for the search and use of bioindicators that allow a reliable assessment of the environmental situation depending on the degree of impact of various anthropogenic factors. It indicates the ability of some species of plants and animals to respond sensitively at the genetic and morphological level to changes that occur, as well as their suitability for assessing various territories. Data are provided on the assessment of the ecological status of territories by cytogenetic test reactions (frequency of aberrations) of the phyto-indicator – onions (*Allium cepa* L.), cultivated on water extracts of soils of natural and anthropogenically modified territories. It has been shown that the soils of the biosphere reserve have a weak mutagenic effect, where the total frequency of aberrations was in the range from 9 to 13 %. Thus, the soils of the territory of the BelNPP environs have a moderate mutagenic effect – the frequency of aberrations ranged from 9 to 17 %, and the observed frequency of mitosis disturbances on the soils of the exclusion zone was in the range of 20–29 %. It has been established that the degree of soil contamination of the studied ecologically diverse territories determines the direction of the process of mitosis. The nature of the change in bioindicational indicators depending on the elemental composition of soils (in particular, the presence of heavy metals and radionuclides) was revealed. Analysis of the obtained data confirmed the reliability of the *Allium*-test method for assessing territories and the possibility of its application in the environmental monitoring system. Based on this, 3 ecologically unequal clusters were identified, differing in the degree of anthropogenic influence. The first is the territory with radiation pollution – the Polesie State Radiation-Ecological Reserve (PSRER), the second is the anthropogenically disturbed territory – BelNPP and the third is the reference territory – the Berezinsky Biosphere Reserve with a minimum level of pollution.

Keywords: phytoindicators; *Allium cepa*; radionuclides; chromosomal abnormalities; aberration frequency (AF).

Acknowledgments. This work was carried out within the framework of the State Research Program «Natural Resources and the Environment», subprogram «Radiation and Biological Systems». The authors express their gratitude for organizational assistance to A. O. Lukashuk, Senior Researcher of the Berezinsky Biosphere Reserve, as well as to the administration of the Polesie State Radiation-Ecological Reserve and the Belarusian NPP.

Введение

Беларусь представляет собой пример глубокого преобразования сложившихся природных комплексов в результате быстрых темпов развития техногенных процессов и аварии на Чернобыльской АЭС. С вводом в действие БелАЭС одной из первостепенных экологических задач является осуществление длительного мониторинга в зоне ее действия, системы которого в настоящее время во всех странах базируются на методах физико-химического и биологического контроля. При этом приоритетным остается метод биоиндикации. Биологический контроль, в большинстве случаев, является основным методом оценки

наблюдаемых воздействий, поскольку значение приобретает экономическая доступность и небольшой временной интервал для получения экспериментальных данных. Одним же из важных направлений экологии является биоиндикационная оценка различных территорий на основании данных о биологических механизмах, определяющих адаптации организмов к изменяющимся условиям среды, а основными информативными критериями для ее оценки выступают стресс-реакции биоиндикаторов (модельных видов фито- и зооиндикаторов).

В программах по биомониторингу особую роль отводят поиску и использованию биоиндикаторов, позволяющих достоверно оценить экологическую ситуацию в зависимости от степени воздействия различных антропогенных факторов. Так, благодаря способности многих видов растений [1–4] и животных [5–7] чутко реагировать на генетическом и морфологическом уровне на происходящие изменения, они пригодны для оценки экологического благополучия среды.

Значимость же биологического контроля заключается в выявлении совокупного воздействия факторов среды на живые организмы по отдельным показателям их состояния, характеризующим стабильность индивидуального развития организма или отклонение от нормы. Такими показателями у живых организмов служат цитогенетические нарушения у растений [8], а также морфометрические и фенетические изменения у популяций зооиндикаторов [9; 10]. При этом данные о биологических механизмах, определяющих адаптации организмов к изменяющимся условиям среды [11], позволяют оценить экологический статус различных территорий. Контроль состояния качества территорий, находящихся в неравноценных условиях, важен для разработки эффективных мер при принятии управленческих решений и напрямую зависит от научно-обоснованной оценки состояния качества среды и выявленных тенденциях ее изменения [12].

Особого внимания заслуживает изучение влияния радиоактивного загрязнения на протекание генетических процессов [13], поскольку даже в отдаленные по времени периоды после радиационного воздействия почва, загрязненная радионуклидами, остается радиоактивной. Сохраняющиеся уровни хронического облучения способны оказывать влияние на протекание важнейших биологических, в том числе генетических процессов, представляя опасность и для человека [14; 15]. Наиболее информативным методом лабораторных исследований по воздействию фактора радиоактивности окружающей среды, в частности загрязненных почв, позволяющим получать достоверные результаты, сопоставимые с другими тест-системами, является *Allium*-тест. Биотест, основанный на использовании клеток корневой апикальной меристемы лука репчатого (*Allium cepa*), способен выявлять различные формы воздействия радиационного фактора на генетический материал.

В литературе отмечено, что нарушения процесса митоза, лежащие в основе канцерогенеза млекопитающих и человека [16], фиксируются методами биотестирования с использованием цитогенетического анализа данных.

Система оценки метаболической активации, разработанная на основании полученных данных [17–18], рекомендована к использованию в экологических исследованиях, поскольку отмечается согласованность результатов с данными по тест-системам крови человека.

Цель исследования – изучение выраженности антропогенного давления на экосистемы по цитогенетическим показателям антропогенно измененных территорий зоны отчуждения (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник; окрестности БелАЭС) и естественных (Березинский биосферный заповедник).

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились в течение 5 лет (2021–2025 гг.) в реперных точках трех экологических кластеров, расположенных в естественной среде – Березинском биосферном заповеднике (ББЗ) и условиях действия разнородных антропогенных факторов, в том числе и радиационного (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ)) и действующей с 2020 г. БелАЭС.

Места сбора в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС представлены на рис. 1. Материал в зоне отчуждения (почвенные пробы и виды-зооиндикаторы) собран в окрестностях деревень (Масаны, Дроньки, Красноселье, Бабчин) и станции дезактивации (рис. 1).

Для мониторинга территории БелАЭС (рис. 2) почвенные пробы собирались в нескольких реперных точках (было выбрано 9 точек, среди них деревни Гоза, Шульники и Вaleyкуны).

Строительство АЭС на Островецкой площадке было начато в 2011 г. На рис. 2 представлен подготовительный этап и станция после ввода в эксплуатацию в 2021 г.

В Березинском биосферном заповеднике сбор почв проводился в четырех точках: д. Домжерицы, метеостанция, д. Кветче и Крайцы.



Рис. 1. Реперные точки зоны отчуждения: а) научно-исследовательская станция «Масаны»; б) Дроньки (фото О. В. Лозинской)

Fig. 1. Reference points of the exclusion zone: a) Masany research station; b) Dronki (photos by O. V. Lozinskaya)



Рис. 2. Вид Островецкой площадки в начале строительства БелАЭС: а) 2012 г.; б) 2021 г. (фото О. В. Лозинской)

Fig. 2. View of the Ostrovets site at the beginning of construction of the Belarusian Nuclear Power Plant: a) 2012; b) 2021 (photos by O. V. Lozinskaya)

Материалом для исследования послужили образцы почв, взятые из всех реперных точек, корневая мери-стема лука репчатого, выращенного на водных вытяжках почв исследуемых территорий. Основные направ-ления работы – спектрометрические исследования образцов почв разнотипных территорий на содержание радионуклидов с использованием гамма-бета спектрометра МКС АТ 1315 и метод «Allium-test», а также цито-логические исследования показателей видов-индикаторов; обработка почвенных проб в лабораторных усло-виях для установления радиоактивного фона выбранных реперных точек и определения элементного состава.

Для определения элементного состава почв отбирались их образцы по общепринятым методикам во всех реперных точках (5 точечных проб с площади 1×1 м, расположенных «конвертом») [19].

Измерения проб проводились методом регистрации гамма- и бета-излучения сцинтилляционными блоками детектирования на сцинтилляционном гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315 согласно методике МВИ.МН 1181-2011.

Для приготовления почвенных вытяжек подготовленную почву взвешивали и заливали деионизированной водой в соотношении 1:2.

Семена *Allium cepa* в количестве пятидесяти штук для каждого варианта закладывали в чашки Петри и заливали вытяжкой почв исследуемых территорий. Для контроля служили семена, проросшие на про-точной воде.

Семена, пророщенные от 3 до 5 дней, корешки которых длиной около 1 см (когда наблюдаются первые митозы в меристеме), фиксируются в фиксаторе Кларка: смесь 96 % этилового спирта и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1 и окрашиваются 2 % ацетокармином.

На предметных стеклах лезвием отрезали кончики корешков, предварительно окрашенных ацетокармином, длиной до 1 мм. Корешки располагали под покровным стеклом и прижимали, накрыв фильтровальной бумагой, затем надавливали покровное стекло строго перпендикулярно до образования на месте корешков «облачков» клеток. Для дальнейшей экспериментальной работы по изучению хромосомных патологий микроскопировали при увеличении $\times 1000$.

Цитотоксичность почв оценивали по их способности влиять на показатели митотического индекса и патологий митоза (частоты аберраций) корневой меристемы.

Полученные данные обработаны статистически с использованием электронных таблиц *Microsoft Office Excel*, а также пакета прикладного программного обеспечения *Statsoft (USA) Statistica 8.0*. На основании рассчитанных матриц близостей в программном обеспечении *PAST v.3.17* осуществлена кластеризация методом бутстреп 10000 и построены графики РСА (главных компонент). Для оценки взаимосвязей между всеми показателями (ЧА, радионуклидным и составом тяжелых металлов) был проведен корреляционный (метод Спирмена) и регрессионный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализировались почвы трех территориальных кластеров по степени присутствия радиоактивных элементов. Проведены спектрометрические исследования проб почв на содержание радионуклидов с использованием гамма-бета спектрометра МКС АТ 1315 из Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (5 проб), Березинского биосферного заповедника (4 пробы) и окрестностей Белорусской АЭС (9 проб).

Результаты анализа образцов почв всех реперных точек представлены в таблице.

Усредненные показатели удельной активности бета- и гамма-излучающих радионуклидов в почвах исследуемых территорий за 2021–2025 гг.

Average values of the specific activity of beta- and gamma-emitting radionuclides in the soils of the studied territories for 2021–2025

Точки сбора	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	
	Бк/кг	Статистическая погрешность, %	Бк/кг	Статистическая погрешность, %
ББЗ (Метеостанция)	7,8	5,0	0	0
ББЗ (д. Домжерицы)	10,6	6,3	0	0
ББЗ (д. Кветче)	12,5	4,6	0	0
ББЗ (д. Крайцы)	10,3	5,3	0	0
БелАЭС-1 (д.Гоза)	19,1	15,1	0	0
БелАЭС-2	17,9	14,4	0	0
БелАЭС-3	19,7	10,3	0	0
БелАЭС-4	18,5	9,2	0	0
БелАЭС-5 (д. Шульники)	12,7	5,9	0	0
БелАЭС-6	17,8	12,4	0	0
БелАЭС-7 (д. Вaleyкуны)	13,4	5,3	0	0
БелАЭС-8	15,2	6,9	0	0
БелАЭС-9	14,6	6,8	0	0
Зона отчуждения (д. Дроньки)	4438,5	0,9	615,8	8,1
Зона отчуждения (д. Масаны)	30283	0,3	6310	2
Зона отчуждения (Красноселье)	18489	0,9	1353,3	8,6
Зона отчуждения (станция дезактивации)	1344	6,1	804,5	2,5
Зона отчуждения (д. Бабчин)	1081	4	740,9	2

Как следует из табл., удельная активность радионуклидов в исследуемых пробах Березинского заповедника и окрестностей БелАЭС соответствует фоновым уровням.

Уровень загрязнения почвы цезием-137 в зоне отчуждения ЧАЭС чрезвычайно высок, максимальные значения в отдельных точках достигали почти 30 тыс. Бк/кг (д. Масаны). Минимальный уровень загрязнения почвы цезием-137 в ближней зоне ЧАЭС зарегистрирован в населенном пункте Бабчин – 1081 тыс. Бк/кг. Максимальные уровни стронция-90 обнаружены в пределах д. Масаны и составили 6310 Бк/кг, а минимальные в д. Бабчин – 740 Бк/кг.

Радиационный фон в точках сбора на территориях зоны отчуждения за весь период исследований представлен в порядке возрастания: в Бабчине – 0,12–0,29 мЗв/ч, Дроньках – 0,18–0,34 мЗв/ч, Красноселье – 0,74–1,45 мЗв/ч, Масанах – 2,70–3,62 мЗв/ч. Радиационный фон на территориях БелАЭС и БГБЗ находился в пределах нормы 0,04–0,09 мЗв/ч.

Цитогенетические нарушения в клетках апикальной меристемы *Allium cepa*. Для выяснения нарушения процессов клеточного деления *A. cepa*, выращенных на почвенных вытяжках, включающих элементы как опасные для живых организмов, так и необходимые для жизнедеятельности (Zn, Fe), была рассчитана частота аберраций в клетках.

Результаты выявления патологических митозов в клетках корневой меристемы *Allium cepa* в зависимости от состава почв Березинского заповедника представлены на диаграмме размаха (рис. 3).

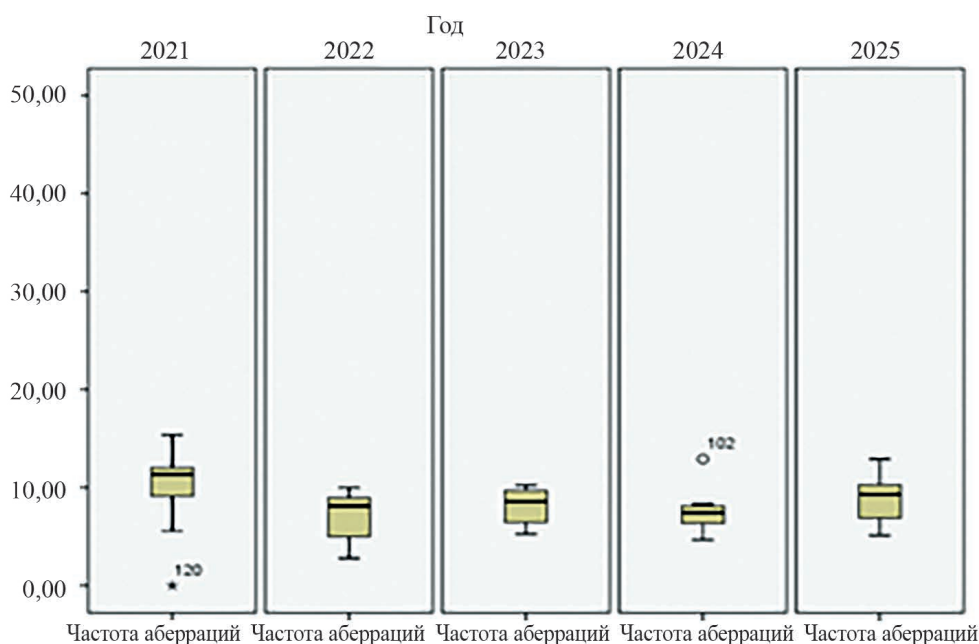


Рис. 3. Показатели суммарной частоты аберраций в клетках корневой меристемы *Allium cepa*, пророщенных на почвах территории Березинского заповедника

Fig. 3. Indicators of the total aberration frequency in the root meristem cells of *Allium cepa* germinated on soils from the territory of the Berezinsky Reserve

Как показали исследования, почвы Березинского биосферного заповедника обладают слабым мутагенным эффектом, о чем можно судить по суммарной частоте аберраций, которая находилась в диапазоне от 9 до 13 % в течение всего периода исследований.

Следует отметить, что элементный состав почв территории заповедника не нарушает протекание процесса митоза в клетках. Дисбаланс по дефициту железа повсеместно не оказывает существенного влияния на цитогенетические показатели клеток *фитоиндикатора*. Показано, что токсические элементы (свинец, ртуть и кадмий) находятся в пределах нормы.

БелАЭС. Результаты выявления хромосомных патологий в клетках корневой меристемы *Allium cepa* в зависимости от элементного состава почв окрестностей БелАЭС представлены на диаграмме размаха (рис. 4).

Исследования показали, что почвы территории окрестностей БелАЭС обладают умеренным мутагенным эффектом, о чем можно судить по суммарной частоте аберраций, которая находилась в диапазоне от 9 до 17 % в течение пятилетнего периода исследований.

Зона отчуждения ПГРЭС. Результаты данных по нарушению митоза корневой меристемы *A. cepa*, пророщенных на вытяжках почв территории зоны отчуждения представлены на рис. 5.

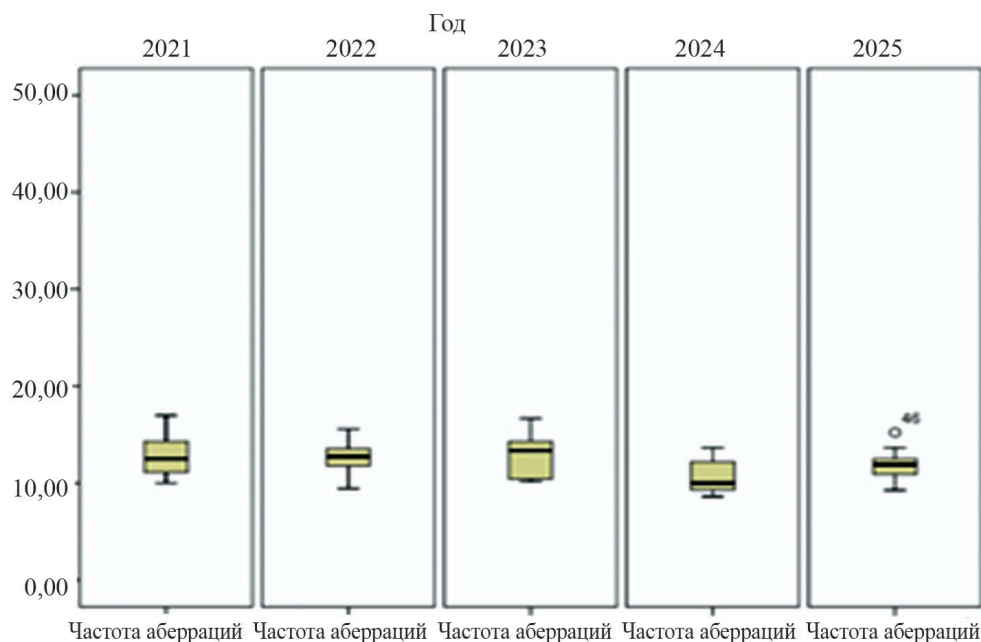


Рис. 4. Показатели суммарной частоты aberrаций в клетках корневой меристемы *Allium cepa*, пророщенных на почвах Бел АЭС

Fig. 4. Indicators of the total aberration frequency in the root meristem cells of *Allium cepa* germinated on soils from the Belarusian NPP area

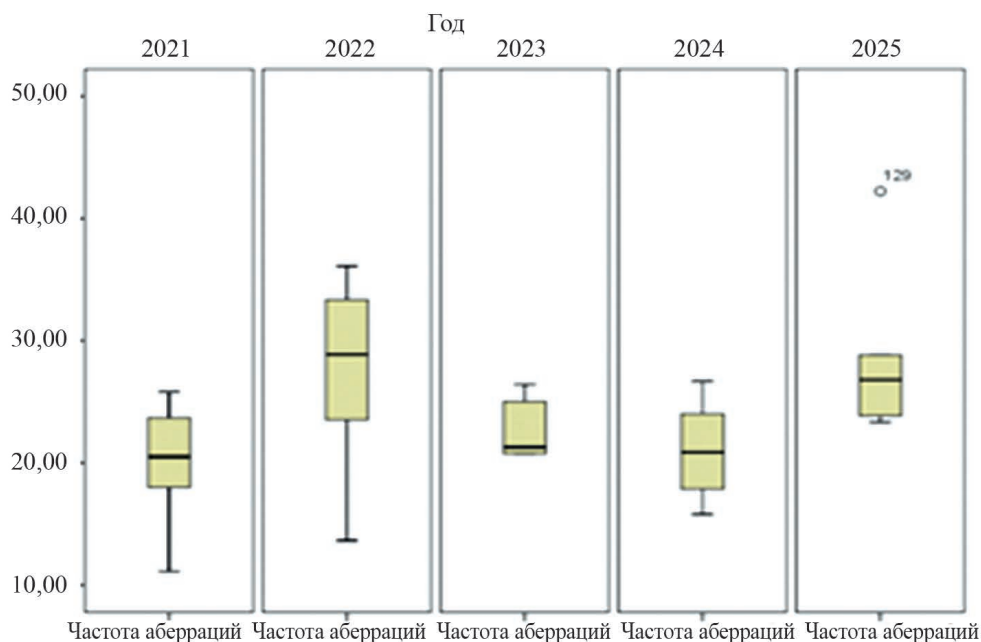


Рис. 5. Показатели суммарной частоты aberrаций (ЧА) в клетках корневой меристемы *Allium cepa*, пророщенных на почвах зоны отчуждения

Fig. 5. Indicators of the total aberration frequency (AF) in the root meristem cells of *Allium cepa* germinated on soils from the exclusion zone

Как следует из рис. 5, патологии митоза в клетках, пророщенных на почвенных вытяжках зоны отчуждения отличаются высокими значениями от других территорий. Наблюдаемая частота нарушений митоза находилась в диапазоне 20–29 %. Однако следует отметить, что единожды наблюдался факт резкого возрастания показателя частоты aberrаций до 42 %, произошедший в 2025 г. на территории станции дезактивации.

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что статистически значимое увеличение частоты aberrаций и их особенностей у фитоиндикатора лука репчатого обусловлено степенью радионуклидного загрязнения почв в антропогенных условиях.

Для наглядности происходящих процессов были рассчитаны усредненные значения ЧА за весь период исследований для всех территорий (рис. 6).

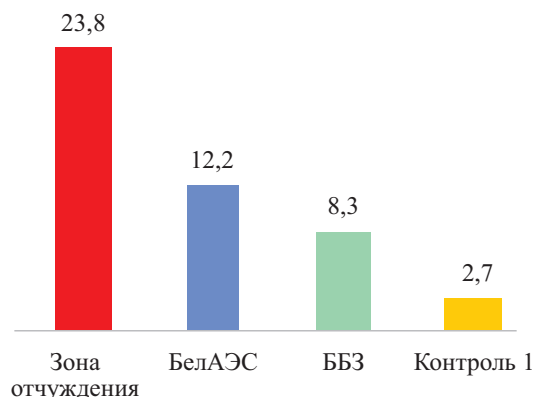


Рис. 6. Усредненные значения суммарной частоты аберраций (ЧА) у модельного вида за весь период исследования

Fig. 6. Average values of the total aberration frequency (AF) in the model species over the entire study period

На рис. 6 представлены усредненные данные значений мутагенной активности и числа мутаций у *Allium cepa*, которые были довольно высокими и даже критическими – 23,8 % для зоны отчуждения по сравнению с биосферным заповедником – 8,3 % и водопроводной водой (контроль 1) – 2,7 %. Для большинства проб выявлены статистически значимые различия данного показателя по сравнению с эталонной территорией – Березинским биосферным заповедником.

Следует констатировать, что возрастание мутагенного действия почв, отраженного в цитогенетических показателях, зависит не только от наличия элементного дисбаланса и радионуклидного загрязнения, но и от их синергического или разнонаправленного влияния.

Таким образом, нарушение цитогенетического гомеостаза проявляется при прохождении клеткой митотического цикла, вызванного сочетанным воздействием факторов, обусловленных элементарным составом почв.

Подводя итог пятилетнего исследования, следует подчеркнуть, что для территорий с различным уровнем антропогенной нагрузки, а именно радиационное загрязнение (зона отчуждения (ПГРЭЗ)), антропогенно-измененная территория в процессе подготовки площадки для строительства и эксплуатации БелАЭС, естественные условия (Березинский биосферный заповедник), получены данные, позволившие по результатам кластерного анализа ранжировать эти территории по тест-критериям. Результаты исследований стресс-реакций цитогенетических показателей фитоиндикатора *Allium cepa* на действие радиационного фактора соотносятся с выводами проанализированных литературных источников [21], а также нашими исследованиями [22; 23].

Так, влияние элементного и радионуклидного состава почв в условиях лабораторного эксперимента проявилось в отклонениях от нормы цитогенетических показателей у модельного вида. На рис. 7 показана прямая корреляция для всех территорий между содержанием в почве радионуклидов и частотой хромосомных аберраций.

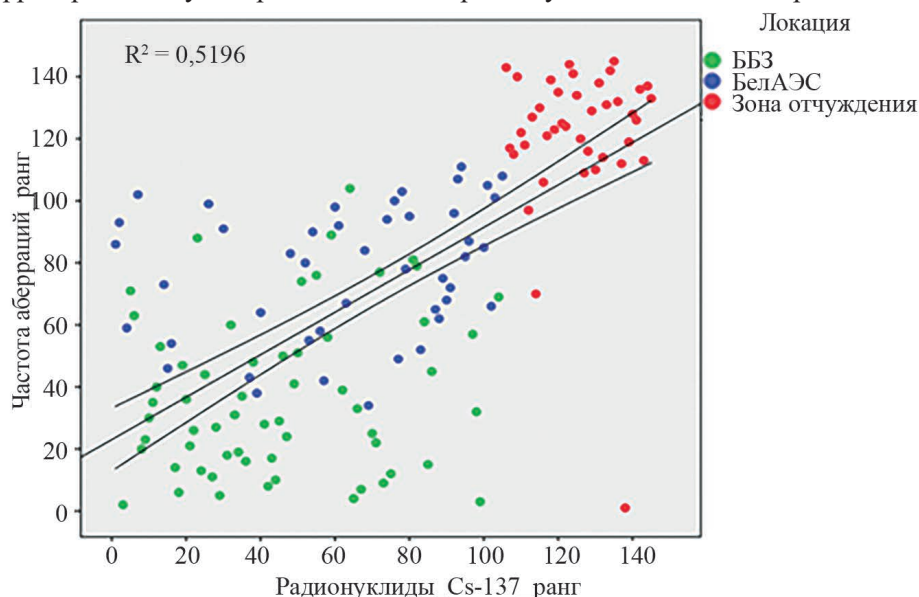


Рис. 7. График корреляции по Спирмену (по осям – ранги: X – радиоактивность, Y – аберрации)

Fig. 7. Spearman correlation plot (axes show ranks: X – radioactivity, Y – aberrations)

На основании полученных нами данных за период 2021–2025 гг. в *SPSS Statistics v.20.0* были рассчитаны матрицы близостей, реализованные в виде двумерного графика главных компонент (рис. 8).

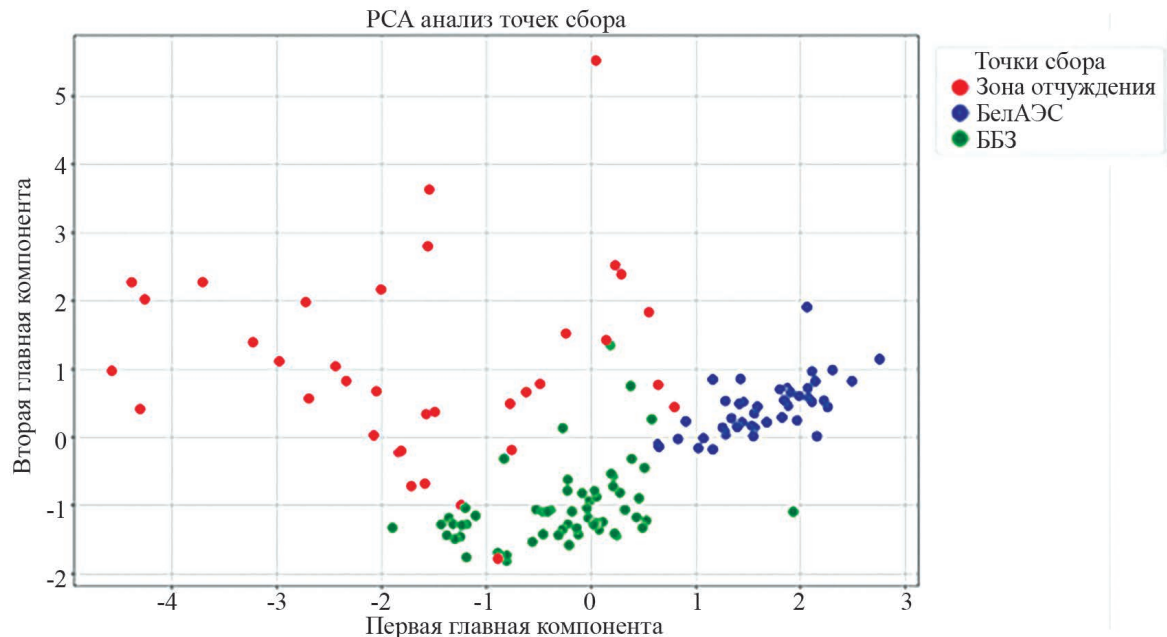


Рис. 8. График PCA (главных компонент) по данным МИ, ЧА за период 2021–2025 гг.

Fig. 8. PCA (Principal Component Analysis) plot based on MI and AF data for the period 2021–2025

Графическое представление полученных результатов для фитоиндикатора по всем исследованным точкам позволяет выделить 3 экологически неравноценных кластера, различающихся степенью антропогенного влияния (рис. 8). Первый – территория с радиационным загрязнением (ППРЭЗ), второй – антропогенно-нарушенная территория (БелАЭС) и третий – эталонная территория (Березинский биосферный заповедник) с минимальным уровнем загрязнения.

Заключение

Примененный в работе подход позволил дать объективную оценку экологического состояния изучаемых территорий по биоиндикационным показателям модельного объекта *Allium sera* за период 2021–2025 гг. Установлена зависимость протекания стадий митоза у фитоиндикатора – лука репчатого (*Allium sera*) и выявленных патологий от содержания радионуклидов, присутствующих в почвах экологически неравнозначных территорий. Отмечено, что содержание радионуклидов в почве обладает генотоксическим свойством, что приводит к хромосомным aberrациям.

Так, показано, что почвы биосферного заповедника обладают слабым мутагенным эффектом, где суммарная частота aberrаций находилась в диапазоне от 9 до 13 %. Почвы территории окрестностей БелАЭС обладают умеренным мутагенным эффектом – частота aberrаций составляла от 9 до 17 %, а наблюдаемая частота нарушений митоза на почвах зоны отчуждения находилась в диапазоне 20–29 %.

Результаты проведенного исследования подтвердили пригодность метода биоиндикации для оценки качества природной среды по цитогенетическим показателям состояния фитоиндикатора лука репчатого.

Библиографические ссылки

1. Неверова ОА. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды. *Биосфера*. 2009;1(1):82–92.
2. Kalaev VN, Karpova SS, Artyukhov VG. Cytogenetic characteristics of Weeping Birch (*Betula pendula* Roth) seed progeny in different ecological conditions. *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*. 2010;4(1):77–83.
3. Агаджанян ЭА, и др. Применение клон 02 традесканции для оценки кластогенных эффектов при генетическом мониторинге техногенных территорий. В: *Проблемы и мониторинг природных экосистем*. Пенза: МНИЦ ПГСХА; 2014. р. 20–23.
4. Тарханов СН, Бирюков СЮ. Влияние атмосферного загрязнения на фотосинтезирующий аппарат *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst. в северной тайге бассейна Северной Двины. *Известия вузов. Лесной журнал*. 2014;1:20–26.
5. Рассадина ЕВ. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2007;2(5):48–53.
6. Рындович СК, Лукашук АО, Земоглядчук АВ, Токарчук ОВ, Байчоров ВМ. Насекомые-биоиндикаторы и критерии ненарушенных водных экосистем Беларуси. *Вестник БарГУ*. 2020;8(1):99–119.

7. Евсеева ТИ, Майстренко ТА, Гераськин СА, Белых ЕС, Казакова ЕВ. Токсические и цитогенетические эффекты, индуцируемые у *A. cepa* низкими концентрациями Cd и ²³²Th. *Цитология и генетика*. 2005;5:73–80.
8. Сушко ГГ. Насекомые как индикаторы экологического состояния верховых болот Белорусского Поозерья. *Труды БГУ*. 2015;10(1):359–367.
9. Сергеева ТП, Лозинская ОВ, Титова ЕТ. Саранчовые (*Acrididae*) как индикаторы эколого-сукцессионных процессов техногенно-трансформированных территорий. В: *Биологическое разнообразие природных и антропогенных ландшафтов: изучение и охрана*. Астрахань: [б. и.]; 2025. p. 227–231.
10. Сергеева ТП, Лозинская ОВ, Смирнова ЕГ. Жизненные формы прямокрылых (*Orthoptera*) Беларуси как показатель их адаптивных возможностей и биоиндикационных качеств. *Журнал БГУ. Экология*. 2021;4:36–45.
11. Луговской АМ, и др. Биоиндикация как метод мониторинга в процессе территориального управления. *Проблемы региональной экологии*. 2013;2:96–97.
12. Алексахин РМ, Булдаков ЛА, Губанов ВА, и др. *Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры*. Москва: ИздАТ; 2001. 752 p.
13. Гераськин СА, Фесенко СВ, Волкова ПЮ, и др. Что мы узнали о биологических эффектах облучения в ходе 35-летнего анализа последствий аварии на Чернобыльской АЭС? *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021;61(3). Doi.org/10.31857/S0869803121030061 (doi.org in Bing)
14. Ильин ЛА, Кириллов ВФ, Коренков ИП. *Радиационная гигиена*. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2010. 384 p.
15. Gisselson D. Classification of chromosome segregation errors in cancer. *Chromosoma*. 2008;117(6). Doi.org/10.1007/s00412-008-0169-1
16. Удалова АА, Пяткова СВ, Гераськин СА, и др. Оценка цито- и генотоксичности подземных вод, отобранных на промплощадке Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2016;56(2). Doi.org/10.7868/S0869803116020132 (doi.org in Bing)
17. Bolsunovsky A, Dementev D, Trofimova E, et al. Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (*Allium cepa*) by gamma-radiation. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019;207. Doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.05.014 (doi.org in Bing)
18. Saghirzadeh M, Gharaati MR, Mohammadi Sh, et al. Evaluation of DNA damage in the root cells of *Allium cepa* seeds growing in soil of high background radiation areas of Ramsar, Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008;99. Doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.03.013
19. Муравьев АГ. *Оценка экологического состояния почвы*. Санкт-Петербург: Ассоциация «Крисмас+»; 2000. 79 p.
20. Смирнова МВ, Смирнов АА. Цитогенетические эффекты γ-радиации в клетках корневой меристемы *Allium cepa*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024;16(2):113–125.
21. Исаченко ЕВ, Лозинская ОВ. Использование цитогенетических показателей *Allium cepa* для оценки экологического состояния территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. В: *Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов. Материалы III Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика Н. В. Смольского*. Минск: [б. и.]; 2015. с. 93–96.
22. Лозинская ОВ, Мельнов СБ, Сергеева ТП, Кипень ВН. Биоиндикационный подход к оценке экологического статуса территорий по морфологическим и цитогенетическим показателям растений. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2019;64(3):364–373.

References

1. Neverova OA. *Primenenie fitoindikacii v ocenke zagryaznenija okruzhajushhej sredy* [Application of phytoindication in assessing environmental pollution]. *Biosfera*. [Biosphere]. 2009;1(1):82–92. Russian.
2. Kalaev VN, Karpova SS, Artyukhov VG. Cytogenetic characteristics of Weeping Birch (*Betula pendula* Roth.) seed progeny in different ecological conditions. *Bioremediation Biodiversity Bioavailability*. 2010;4(1):77–83.
3. Agadzhanian EA, et al. *Primenenie klona 02 tradeskancii dlja ocenki klastogennyh jeffektov pri geneticheskom monitoringe tehnogennyh territorij* [Use of *Tradescantia* clone 02 for assessing clastogenic effects in genetic monitoring of technogenic territories]. In: *Problems and Monitoring of Natural Ecosystems*. Penza: MNITs PGSKhA; 2014. p. 20–23. Russian.
4. Tarkhanov SN, Biryukov SYu. *Vlijanie atmosfernogo zagryaznenija na fotosintezirujushhij apparat Pinus sylvestris L. i Picea obovata Ledeb. × P. abies (L.) Karst. v severnoj tajge bassejna Severnoj Dviny* [Influence of atmospheric pollution on the photosynthetic apparatus of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst. in the northern taiga of the Severnaya Dvina basin]. *Izvestiya Vuzov. Lesnoy Journal* [News from universities. Forest journal]. 2014;1:20–26. Russian.
5. Rassadina EV. *Bioindikacija i ee mesto v sisteme monitoringa okruzhajushhej sredy* [Bioindication and its place in the environmental monitoring system]. *Vestnik Ulyanovskoi Gosudarstvennoy Selskokhozaistvennoy Akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]. 2007;2(5):48–53. Russian.
6. Ryndevich SK, Lukashuk AO, Zemoglyadchuk AV, Tokarchuk OV, Baichorov VM. *Nasekomye-bioindikatory i kriterii nenaruszenykh vodnykh jekosistem Belarusi* [Insect bioindicators and criteria of undisturbed aquatic ecosystems of Belarus]. *Vestnik BarGU* [Bulletin of BarGU]. 2020;8(1):99–119. Russian.
7. Evseeva TI, Maistrenko TA, Geraskin SA, Belykh ES, Kazakova EV. *Toksicheskie i citogeneticheskie jeffekty, induciruemye u A. cepa nizkimi koncentracijami Cd i ²³²Th* [Toxic and cytogenetic effects induced in *A. cepa* by low concentrations of Cd and ²³²Th]. *Citologija i genetika* [Cytology and Genetics]. 2005;5:73–80. Russian.
8. Sushko GG. *Nasekomye kak indikatory jekologicheskogo sostojanija verhovyyh bolot Belorusskogo Poozer'ja*. [Insects as indicators of the ecological state of raised bogs in the Belarusian Poozerye]. *Trudy BGU* [Works of BSU]. 2015;10(1):359–367. Russian.
9. Sergeeva TP, Lozinskaya OV, Titova ET. *Saranchovyje (Acrididae) kak indikatory jekologo-sukcessionnyh processov tehnogenno-transformirovannyh territorij* [Acrididae as indicators of ecological–successional processes in technogenically transformed territories]. In: *Biologicheskoye raznoobrazie pryrodnyh i antropogennyh landshaftov: izuchenie i ohrana* [Biological Diversity of Natural and Anthropogenic Landscapes: Study and Conservation]. Astrakhan: [publisher unknown]; 2025. p. 227–231. Russian.
10. Sergeeva TP, Lozinskaya OV, Smirnova EG. *Zhiznennye formy prjamokrylyh (Orthoptera) Belarusi kak pokazatel' ih adaptivnyh vozmozhnostej i bioindikacionnyh kachestv* [Life forms of Orthoptera in Belarus as indicators of adaptive potential and bioindic-

ative qualities]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologia* [Journal of the Belarusian. state university. Ecology]. 2021;4:36–45. Russian.

11. Lugovskoy AM, et al. *Bioindikacija kak metod monitoringa v processe territorial'nogo upravlenija*. [Bioindication as a monitoring method in territorial management]. *Problemy regionalnoy ekologii*. [Regional environmental problems]. 2013;2:96–97. Russian.

12. Aleksakhin RM, Buldakov LA, Gubanov VA, et al. *Krupnye radiacionnye avarii: posledstviya i zashhitnye mery* [Major radiation accidents: consequences and protective measures]. Moscow: IzdAT; 2001. 752 p. Russian.

13. Geraskin SA, Fesenko SV, Volkova PYu, et al. *Chto my uznali o biologicheskikh jeffektah obluchenija v hode 35-letnego analiza posledstvij avarii na Chernobyl'skoj AJeS?* [What have we learned about biological effects of radiation from 35 years of analysis of the Chernobyl accident?] *Radiacionnaja biologija. Radiojekologija*. [Radiation biology Radioecology]. 2021;61(3). Doi:10.31857/S0869803121030061. Russian.

14. Il'in LA, Kirillov VF, Korenkov IP. *Radiacionnaja gigiena: uchebnik dlja vuzov* [Radiation Hygiene: A Textbook for Universities]. Moscow: GEOTAR-Media; 2010. 384 p. Russian.

15. Gisselson D. Classification of chromosome segregation errors in cancer. *Chromosoma*. 2008;117(6). Doi:10.1007/s00412-008-0169-1. Russian.

16. Udalova AA, Pyatkova SV, Geraskin SA, et al. *Ocenka cito- i genotoksichnosti podzemnyh vod, otobrannyh na promplohshhadke Dal'nevostochnogo centra po obrashheniju s radioaktivnymi othodami* [Assessment of cyto- and genotoxicity of groundwater sampled at the industrial site of the Far Eastern Center for Radioactive Waste Management]. *Radiatsionnaya Biologiya Radioekologiya* [Radiation biology Radioecology]. 2016;56(2). Doi:10.7868/S0869803116020132. Russian.

17. Bolsunovsky A, Dementyev D, Trofimova E, et al. Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (*Allium cepa*) by gamma radiation. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019;207. Doi:10.1016/j.jenvrad.2019.05.014.

18. Saghirzadeh M, Gharaati MR, Mohammadi Sh, et al. Evaluation of DNA damage in root cells of *Allium cepa* seeds growing in soils of high background radiation areas of Ramsar, Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008;99. Doi:10.1016/j.jenvrad.2008.03.013.

19. Muravyev AG. *Ocenka jeologicheskogo sostojanija pochvy: prakticheskoe rukovodstvo* [Assessment of Soil Ecological State: A Practical Guide]. Saint Petersburg: Associacia «Krismas+». [Association «Krismas+»]; 2000. 79 p. Russian.

20. Smirnova MV, Smirnov AA. *Citogeneticheskie jeffekty γ -radiacii v kletkah kornevoj meristemy Allium cepa* [Cytogenetic effects of γ -radiation in the cells of the root meristem of *Allium cepa*]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024;16(2):113–125. Russian.

21. Isachenko E.V., Lozinskaya O.V. *Ispol'zovanie citogeneticheskikh pokazatelej Allium cepa dlja ocenki jeologicheskogo sostojanija territorii Poleskogo gosudarstvennogo radiacionno-jeologicheskogo zapovednika* [Use of cytogenetic indicators of *Allium cepa* to assess the ecological state of the territory of the Polesie State Radiation-Ecological Reserve]. In: *Problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispolzovaniya biologicheskikh resursov. Materialy III Mezhdunarodnoy konferencii, posvyashchennoy 110-letiyu so dnya rozhdenia akademika N. V. Smolskogo* [Problems of conservation of biological diversity and use of biological resources: Proceedings of the III International Conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician N. V. Smolsky]. Minsk: [publisher unknown]; 2015. p. 93–96. Russian.

22. Lozinskaya OV, Melnov SB, Sergeeva TP, Kipen VN. *Bioindikacionnyj podhod k ocenke jeologicheskogo statusa territorij po morfologicheskim i citogeneticheskim pokazateljam rastenij* [Bioindicative approach to assessing the ecological status of territories based on morphological and cytogenetic indicators of plants]. *Vesti Natsionalnoy Akademii Navuk Belarusi. Seria Biologichnuh Navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Sciences Series]. 2019;64(3):364–373. Russian.

Статья поступила в редакцию 10.02.2026.
Received by editorial board 10.02.2026.

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 539.163:504.064.2.001.18

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ОСНОВНЫМИ ДОЗОБРАЗУЮЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ: РЕТРОСПЕКТИВА, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОГНОЗ (НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛ.)

В. В. ЖУРАВКОВ¹⁾, Н. Н. ЦЫБУЛЬКО¹⁾, Г. Ф. ЛАСУТА²⁾, Е. В. ЖУРАВКОВ¹⁾

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

²⁾Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,
ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Образец цитирования:

Журавков ВВ, Цыбулько НН, Ласута ГФ, Журавков ЕВ. Геоинформационное моделирование загрязнения территории основными дозобразующими радионуклидами: ретроспектива, современное состояние, прогноз (на примере Гомельской обл.). *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;1:24–37.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-24-37>

For citation:

Zhuravkov VV, Tsybulka MM, Lasuta GF, Zhuravkov EV. Geo-information modeling of pollution of the territories with the main dose-forming radionuclides: retrospective, current state (on the example of the Gomel region). *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;1:24–37. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-24-37>

Авторы:

Владислав Владимирович Журавков – кандидат биологических наук, доцент; заместитель директора по учебной работе.

Николай Николаевич Цыбулько – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; начальник научно-исследовательского сектора.

Геннадий Федорович Ласута – кандидат сельскохозяйственных наук; профессор кафедры гуманитарных наук.

Евгений Владиславович Журавков – магистр; стажер младшего научного сотрудника научно-исследовательского сектора.

Authors:

Vladislav V. Zhuravkov, PhD (biology), docent; deputy director for academic work.

zhvl@mail.ru

Mikalai M. Tsybulka, doctor of science (agriculture), full professor; head of the research sector.

nik.nik1966@tut.by

Gennady F. Lasuta, PhD (agriculture), professor at the department of humanities.

Lasuta_g@mail.ru

Evgeniy V. Zhuravkov, master's degree; junior research fellow intern in the research sector.

1907377@mail.ru

Выполнено комплексное геоинформационное моделирование загрязнения территории Гомельской обл. основными дозообразующими радионуклидами на основе интеграции архивных данных радиометрических обследований, геологических карт и полевых измерений. В работе реализованы методы пространственного интерполирования, временного анализа трендов и прогнозирования на основе физико-экологических моделей миграции радионуклидов в почвенно-растительных системах. Для восстановления непрерывных пространственных распределений концентраций радионуклидов (^{131}I , ^{132}Te , ^{103}Ru , ^{95}Nb , ^{239}Np , ^{99}Mo , ^{106}Ru , ^{140}Ba , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{95}Zr , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$) на основе дискретных точечных измерений применяли методы пространственного интерполирования: обратного взвешенного расстояния, кригинга с внешним дрейфом, триангуляции Делоне с линейной интерполяцией. Проведен ретроспективный анализ динамики загрязнения территории Гомельской обл. основными дозообразующими радионуклидами с 1986 г., выявлены устойчивые зоны с замедленной деградацией активности, а также построен прогноз уровней загрязнения радионуклидами до 2056 г. Результаты показали, что ^{137}Cs остается доминирующим дозообразующим нуклидом (более 85 % текущей эффективной дозы), при этом его активность в среднем снизилась на 68–72 % за 40 лет. Прогноз на 2056 г. указывает на дальнейшее снижение активности до 15–25 % от текущих значений, однако зоны с высокой плотностью загрязнения останутся объектами повышенного радиационного контроля.

Ключевые слова: геоинформационные системы; пространственное моделирование; прогнозирование радиоактивного загрязнения; радиационная безопасность.

GEOINFORMATION MODELING OF POLLUTION OF THE TERRITORIES WITH THE MAIN DOSE-FORMING RADIONUCLIDES: RETROSPECTIVE, CURRENT STATE (ON THE EXAMPLE OF THE GOMEL REGION)

V. V. ZHURAVKOV^a, M. M. TSYBULKA^a, G. F. LASUTA^b, E. V. ZHURAVKOV^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bUniversity of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus,
25 Mashynabudaŭnikoŭ Street, Minsk 220118, Belarus
Corresponding author: V. V. Zhuravkov (zhvl@mail.ru)

Comprehensive geoinformation modeling of contamination of the territory of the Gomel region with the main dose-forming radionuclides has been performed online based on the integration of archived data from radiometric surveys, geological maps and field measurements. The paper implements methods of spatial interpolation, temporal trend analysis and forecasting based on physico-ecological models of radionuclide migration in soil and plant systems. Spatial interpolation methods were used to reconstruct continuous spatial distributions of radionuclide concentrations (^{131}I , ^{132}Te , ^{103}Ru , ^{95}Nb , ^{239}Np , ^{99}Mo , ^{106}Ru , ^{140}Ba , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{95}Zr , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$) based on discrete point measurements: inverse weighted distance, kriging with external drift, triangulation Delaunay with linear interpolation. A retrospective analysis of the dynamics of contamination of the territory of the Gomel region with the main dose-forming radionuclides since 1986 has been carried out, stable zones with delayed degradation of activity have been identified, and a forecast of levels of contamination with radionuclides up to 2056 has been constructed. The results showed that ^{137}Cs remains the dominant dose-forming nuclide (more than 85 % of the current effective dose), while its activity decreased by an average of 68–72 % over 40 years. Forecast for 2056 It indicates a further decrease in activity to 15–25 % of current values, however, areas with high pollution density will remain objects of increased radiation control. The resulting cartograms and models can be integrated into radiation monitoring and land-use planning systems.

Keywords: geographic information systems; spatial modeling; dynamics; radiation pollution forecasting; radiation safety; radionuclide migration models.

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС – одна из крупнейших техногенных катастроф в истории человечества. Республика Беларусь стала наиболее пострадавшей страной – более 23 % ее территории подверглось радиоактивному загрязнению.

В течение четырех десятилетий в Беларуси накоплен беспрецедентный объем данных о пространственном распределении радионуклидов – от результатов наземных съемок и лабораторного анализа почв и растительности до аэро-гамма-спектрометрических и спутниковых наблюдений. Однако до настоящего времени отсутствует единая геоинформационная модель, интегрирующая ретроспективные данные, современные измерения и физико-экологические факторы миграции радионуклидов в целях построения достоверных прогнозов загрязнения.

Традиционные подходы к картированию, основанные на интерполяции точечных данных без учета пространственной автокорреляции и влияния ландшафтных детерминант, не позволяют адекватно оценить динамику загрязнения в условиях антропогенной нагрузки и природной рекультивации.

Настоящая публикация представляет собой комплексное исследование по систематизации и унификации данных за период с 1986 по 2056 г., включающих более 32 тыс. точечных измерений концентраций ^{131}I , ^{132}Te , ^{103}Ru , ^{95}Nb , ^{239}Np , ^{99}Mo , ^{106}Ru , ^{140}Ba , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{95}Zr , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$, полученных в ходе мониторинговых наблюдений, научных исследований и международных проектов [1].

На основе методов геостатистического моделирования (регрессионный кригинг), триангуляции Делоне и моделирования на основе физических процессов миграции построены детализированные картограммы текущего состояния загрязнения, выявлены ключевые зоны риска и проанализированы тенденции снижения (или стабилизации) уровней радионуклидов в различных ландшафтно-экологических условиях. Особое внимание уделено прогнозированию загрязнения до 2056 г.

Результаты исследования формируют основу для научного обоснования мероприятий по защите населения на перспективу.

Материалы и методы исследования

В качестве базового программного обеспечения для создания карт была выбрана геоинформационная система *QGIS ver 3.42*, включающая интерфейс для связи с базами данных, который позволяет провести интеграцию с существующими системами управления базами данных. Для картограмм точки с информацией о загрязнении были преобразованы в равноплощадную картографическую проекцию. Следующий этап при создании карт состоял в построении полигонов, то есть разбиение карты на области, в которой любая точка ближе к своей точке измерения, чем к измерению, в любой другой области. Территории, заполненные небольшими полигонами, отражают высокую плотность измерений и наоборот (рис. 1).

Заключительный этап состоял в создании непосредственно самих карт, представляющих загрязнение территории Гомельской обл. Поскольку загрязнение радионуклидами представляет собой непрерывное поле, естественна попытка реконструировать эту непрерывность. Это делали с помощью методов интерполяции, оценивающих значения переменной там, где пробы не отбирались. В работе использовались методы «обратного расстояния» (IDW), кригинга с внешним дрейфом, триангуляции Делоне с линейной интерполяцией. Это методы построения сеток для интерполяции данных, где метод триангуляции Делоне строит «правильные» треугольники, избегая острых углов, а IDW интерполирует значения, взвешивая их обратно пропорционально расстоянию от точки, создавая гладкую поверхность.

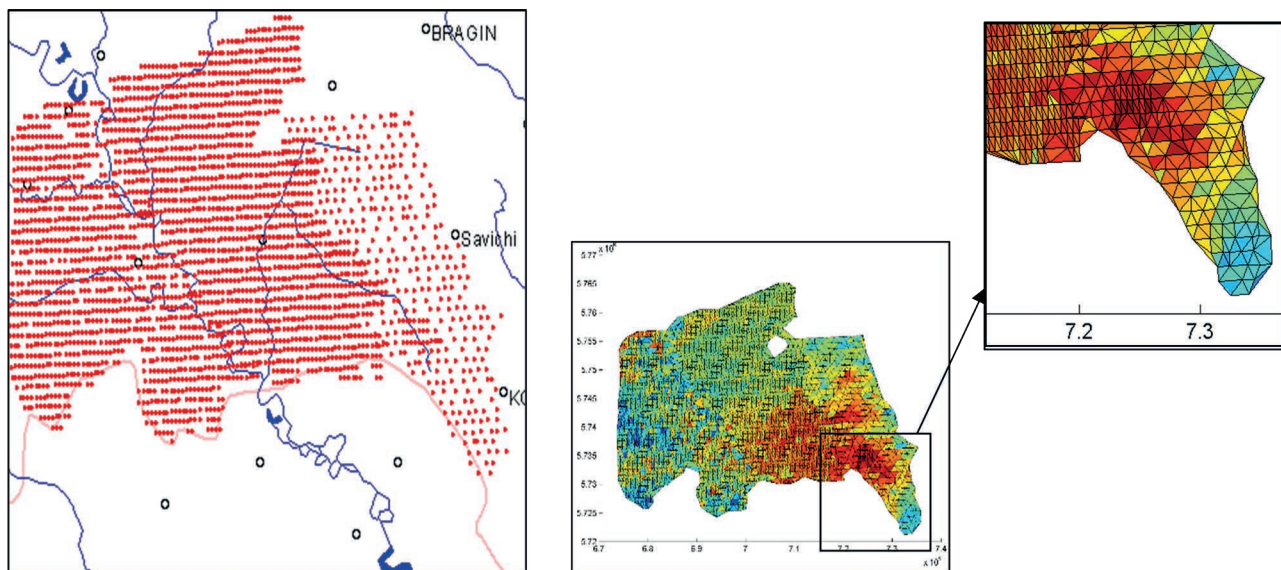


Рис. 1. Построение полигонов на основе равноплощадной картографической проекции (Гомельская обл.)

Fig. 1. Construction of polygons based on an equal-area map projection (Gomel region)

В динамике загрязнения территории Республики Беларусь радионуклидами, выброшенными во окружающую среду вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, можно выделить следующие стадии: I. Йодно-нептуниевый этап; II. Стабилизация радиационной обстановки; III. Цезиево-стронциевый этап; IV. Актинидный этап [2].

Прогноз радиоактивного загрязнения почвы на реперной площадке Масаны Хойникского р-на Гомельской обл. на основе экспериментальных представлений на рис. 2. Прогноз радиоактивного загрязнения на примере реперной площадки Масаны позволяет выявить и описать основные этапы динамики радиационной обстановки в окружающей среде после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

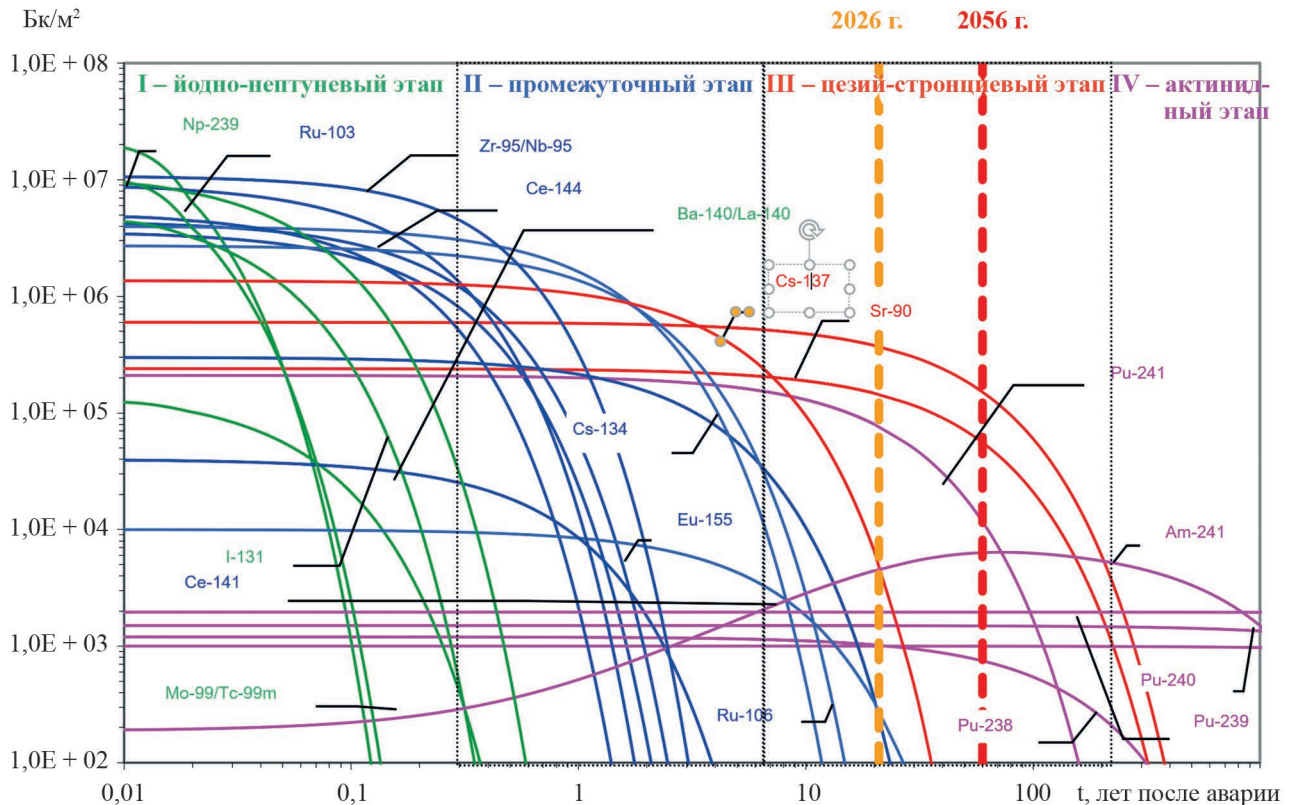


Рис. 2. Прогноз радиоактивного загрязнения почвы на реперной площадке Масаны на основе экспериментальных данных коэффициентов фракционирования радионуклидов

Fig. 2. Forecast of radioactive contamination of soil at the Masany reference site based on experimental data on fractionation coefficients of radionuclides

Результаты исследования и их обсуждение

I. Йодно-нептуновый этап. Короткоживущие изотопы, которые определяли радиационную обстановку в первые дни после аварии, находились в виде конденсационных и топливных частиц. К конденсационным частицам относятся радиоактивные изотопы ^{132}Te , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{103}Ru и ^{106}Ru . В составе топливных частиц были ^{239}Np , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{144}Ce и др. Соотношение этих радионуклидов в значительной степени определяется глубиной выгорания ядерного топлива в реакторе АЭС [3; 4]. Для определения глубины выгорания и количества уранового топлива в почвенных выпадениях после аварии на Чернобыльской АЭС, специально была разработана методика, с использованием в качестве трассера облученного топлива ^{236}U [8]. В соответствии с методикой величина среднего выгорания топлива принята $(9,4 \pm 0,5) \text{ МВт} \cdot \text{сут} / \text{кгU}$ [3–5].

При расчетах выпадений радиоактивных изотопов ^{140}La , ^{140}Ba , ^{95}Zr , ^{97}Zr , ^{95}Nb , ^{156}Eu , ^{239}Np , ^{143}Ce рассматривалось их отношение к ^{144}Ce , так как эти радионуклиды находились в составе топливных частиц [4–6]. На основании данных реконструкции радиационной обстановки территории Гомельской обл., построены картограммы загрязнения ее территории ^{131}I , ^{239}Np , ^{132}Te , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , ^{140}Ba , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{141}Ce , ^{144}Ce на день максимальных выпадений 29.04.1986 г. (рис. 3–12).

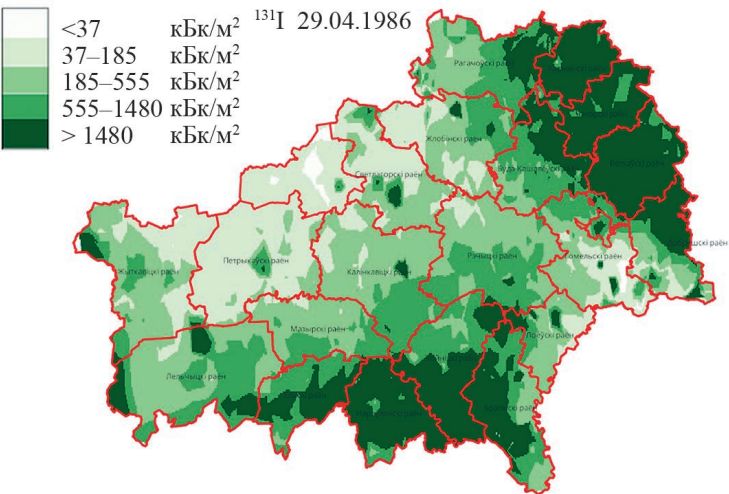


Рис. 3. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{131}I на день максимальных выпадений

Fig. 3. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{131}I

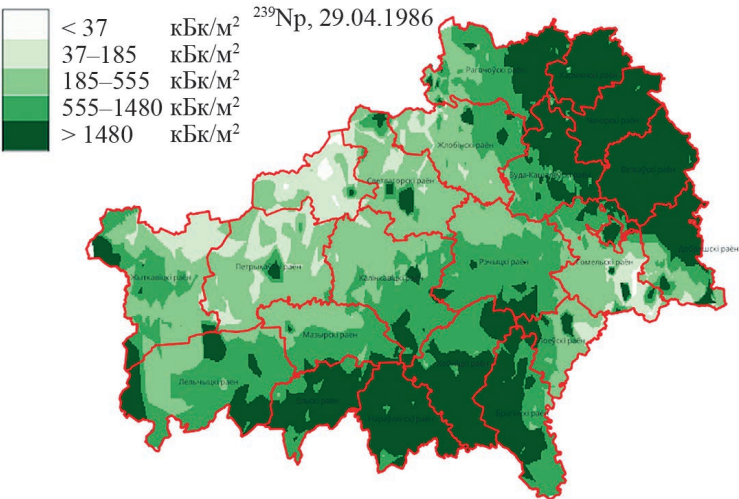


Рис. 4. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{239}Np на день максимальных выпадений

Fig. 4. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{239}Np

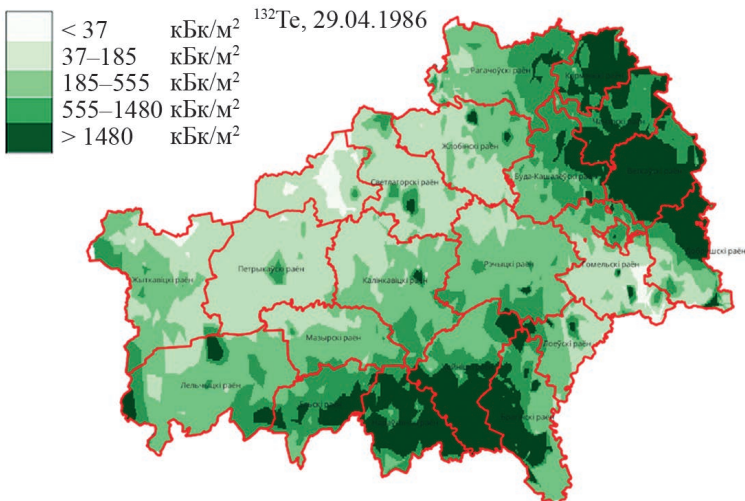


Рис. 5. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{132}Te на день максимальных выпадений

Fig. 5. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{132}Te

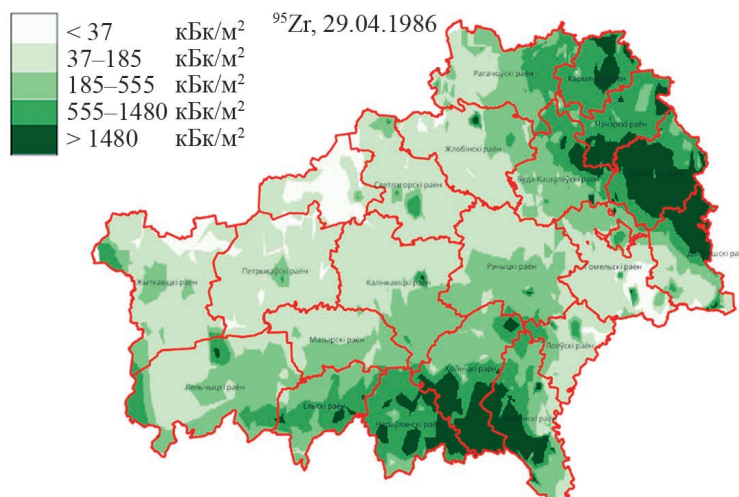


Рис. 6. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{95}Zr на день максимальных выпадений

Fig. 6. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{95}Zr

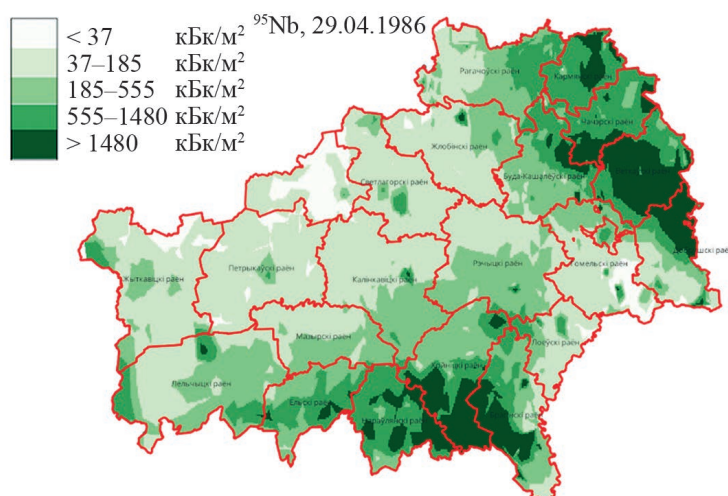


Рис. 7. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{95}Nb на день максимальных выпадений

Fig. 7. Map of contamination of the territory of Gomel region with ^{95}Nb

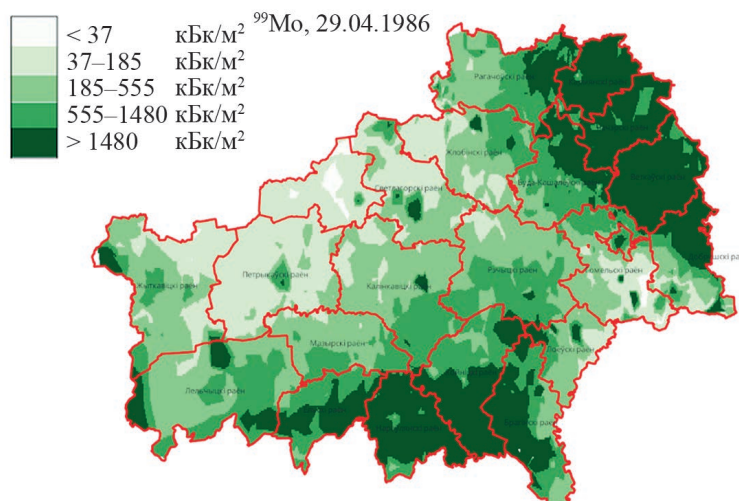


Рис. 8. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{99}Mo на день максимальных выпадений

Fig. 8. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{99}Mo

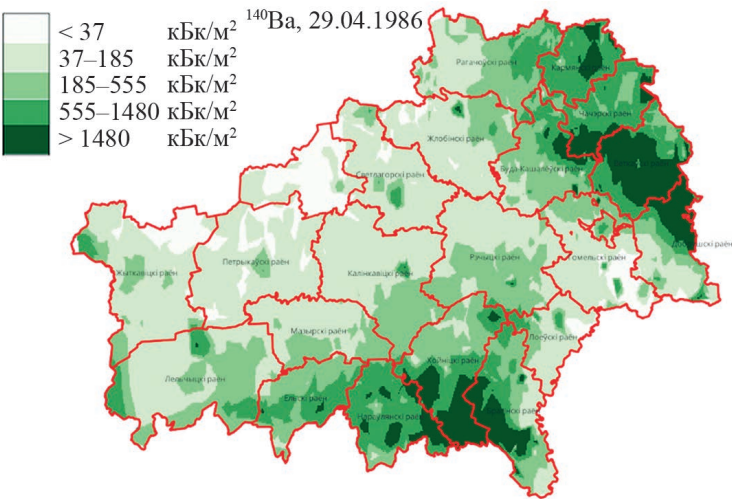


Рис. 9. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{140}Ba на день максимальных выпадений
Fig. 9. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{140}Ba

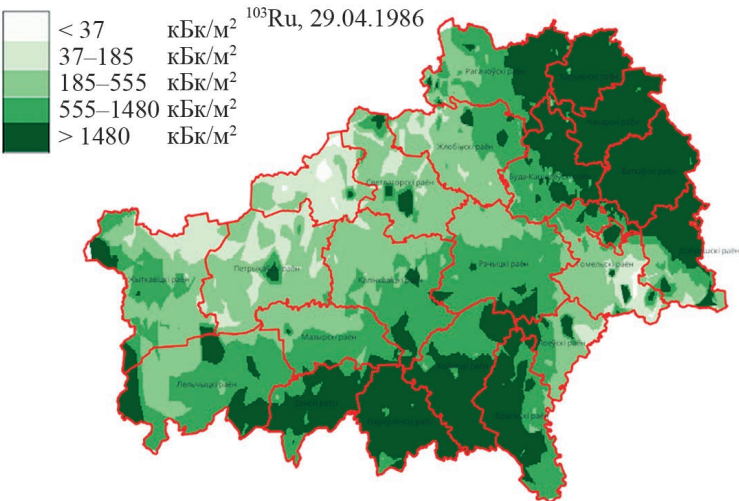


Рис. 10. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{103}Ru в день максимальных выпадений
Fig. 10. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{103}Ru

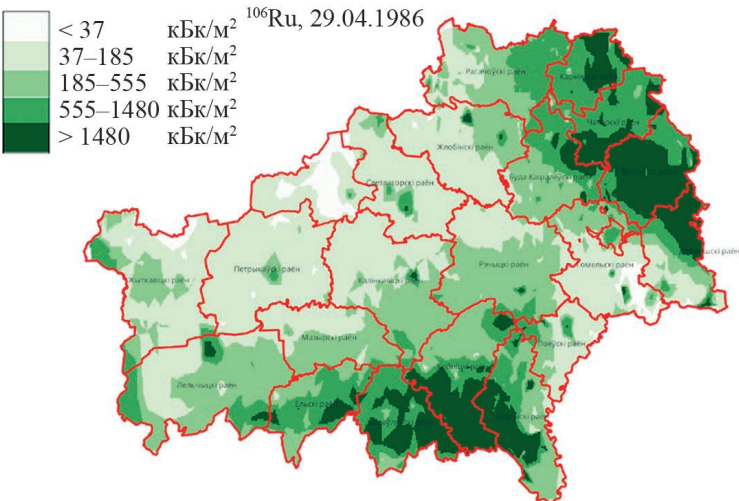


Рис. 11. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{106}Ru в день максимальных выпадений
Fig. 11. Map of the contamination of the territory of Gomel region with ^{106}Ru

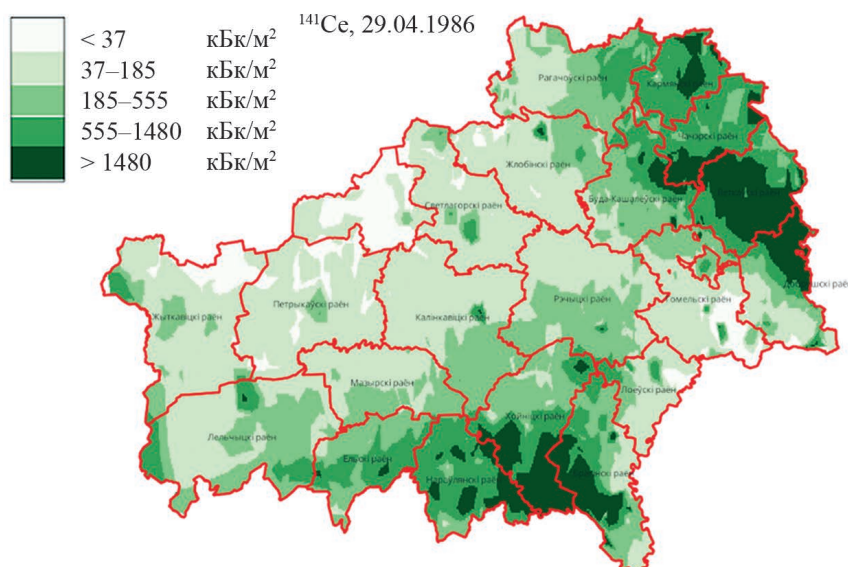


Рис. 12. Карта загрязнения территории Гомельской обл. ^{141}Ce в день максимальных выпадений

Fig. 12. Map of contamination of the territory of Gomel region with ^{141}Ce

Таким образом, кроме изотопов йода, заметный вклад в формирование загрязнения территории Беларуси в период активной стадии аварии вносили радионуклиды ^{132}Te , ^{103}Ru , ^{95}Nb , ^{239}Np , ^{99}Mo , ^{106}Ru , ^{140}Ba , ^{95}Zr .

II. Стабилизация радиационной обстановки и III. Цезиево-стронциевый этапы. Второй и третий этапы характеризуются тем, что за счет естественного радиоактивного распада в сотни и тысячи раз снизилось радиоактивное загрязнение радионуклидами с периодом полураспада около года. Началась заметная деструкция топливных частиц и повышенная миграция ^{90}Sr . Радиационная обстановка на этом этапе в основном обусловлена радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr [7]. На рис. 13–20 представлена динамика загрязнения территории Гомельской обл. ^{137}Cs и ^{90}Sr с 2026 по 2056 г.

В данный период значительно возрастает миграция ^{90}Sr в почве и по пищевой цепочке в результате деструкции топливных частиц, что наиболее характерно для западного следа, где уран находился в первичных выпадениях в неокисленной форме. По мере деструкции топливных частиц ^{90}Sr попадает в почвенные растворы, после чего мигрирует вглубь почвы, проявляя все присущие ему как химическому элементу свойства. Это подтверждается увеличением коэффициента фракционирования ^{90}Sr к урану от глубины в почве. Происходит заметное накопление ^{241}Am за счет распада ^{241}Pu .

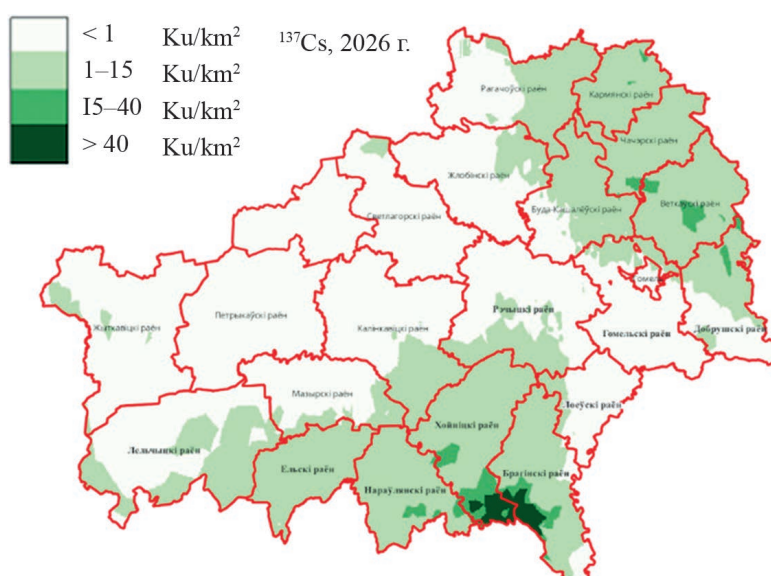


Рис. 13. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{137}Cs на 2026 г.

Fig. 13. Contamination of the Gomel region with ^{137}Cs in 2026

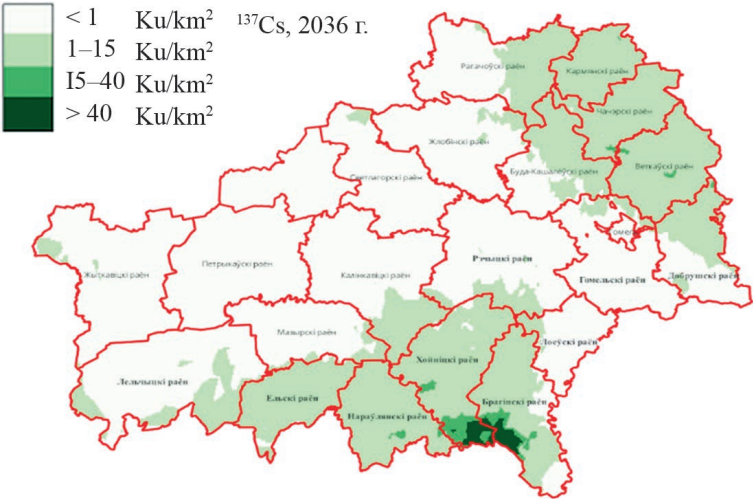


Рис. 14. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{137}Cs на 2036 г.
Fig. 14. Contamination of the Gomel region with ^{137}Cs in 2036

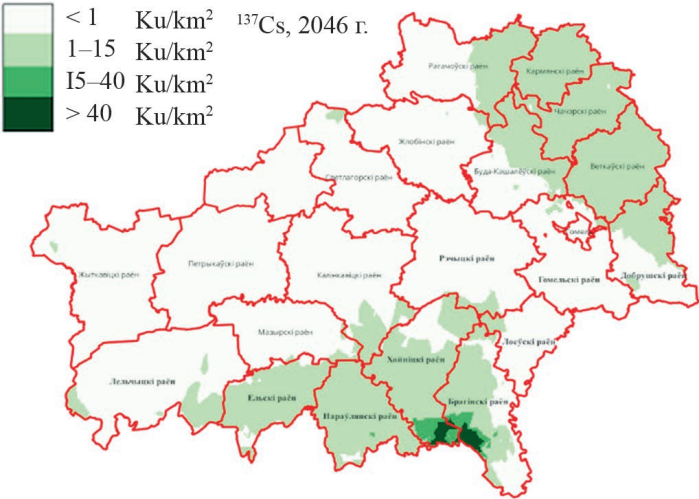


Рис. 15. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{137}Cs на 2046 г.
Fig. 15. Contamination of the Gomel region with ^{137}Cs in 2046

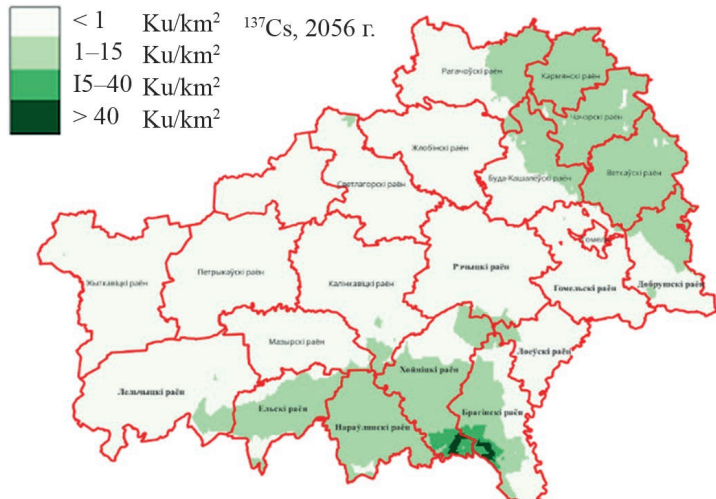


Рис. 16. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{137}Cs на 2056 г.
Fig. 16. Contamination of the Gomel region with ^{137}Cs in 2056

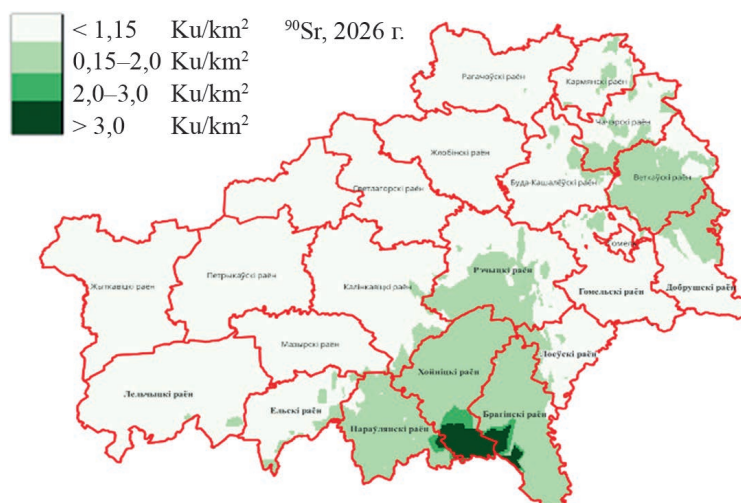


Рис. 17. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{90}Sr на 2026 г.

Fig. 17. Contamination of the Gomel region with ^{90}Sr in 2026

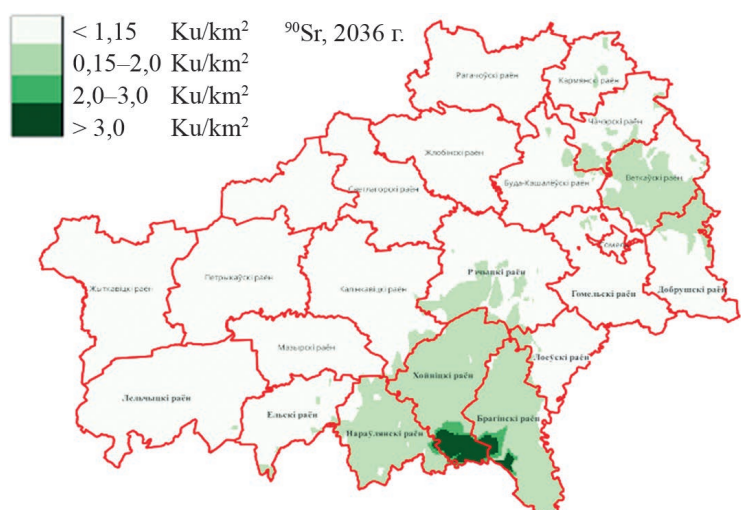


Рис. 18. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{90}Sr на 2036 г.

Fig. 18. Contamination of the Gomel region with ^{90}Sr in 2036

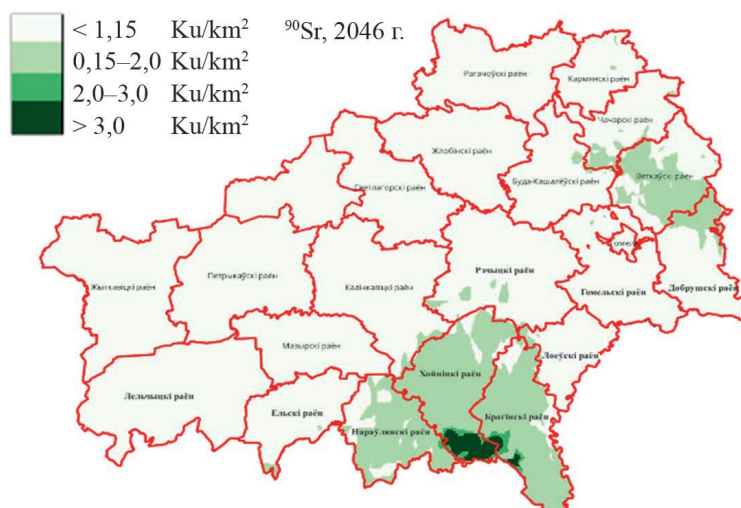


Рис. 19. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{90}Sr на 2046 г.

Fig. 19. Contamination of the Gomel region with ^{90}Sr in 2046

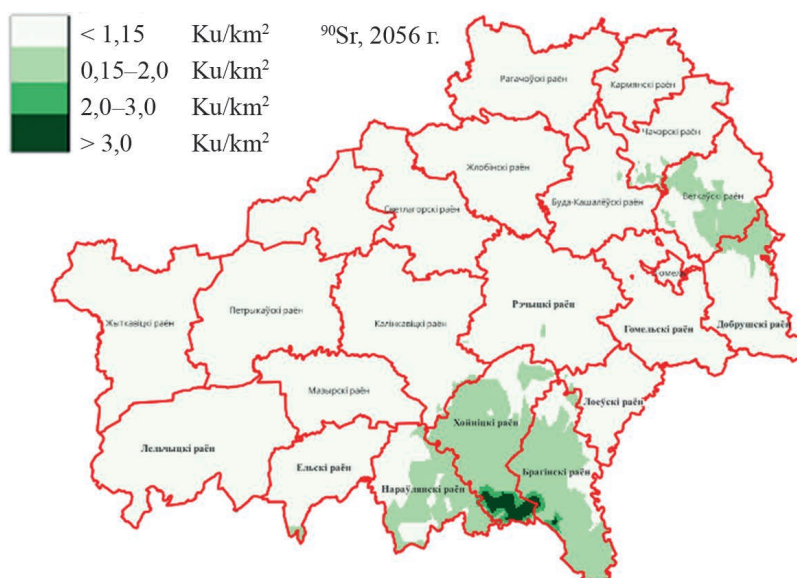


Рис. 20. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{90}Sr на 2056 г.

Fig. 20. Contamination of the Gomel region with ^{90}Sr in 2056

IV. *Актинидный этап.* За счет естественного распада и частично в результате вертикальной и горизонтальной миграции в сотни раз снижается загрязнение ^{241}Pu , ^{137}Cs , ^{90}Sr . Загрязнение в основном определяется актинидами $^{238,239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , причем загрязнение ^{241}Am превышает загрязнение $^{238,239,240}\text{Pu}$.

Необходимо отметить, что чернобыльская катастрофа привела к очень неравномерному загрязнению территории трансурановыми элементами. Так, содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах изменялось от $1,1 \cdot 10^5$ Бк/м² для территорий, расположенных вблизи Чернобыльской АЭС, до средних глобальных уровней на севере Беларуси. Высокие уровни загрязнения располагаются локально в радиоактивных пятнах ближнего следа. В Гомельской обл. наблюдается постоянный рост содержания ^{241}Am в компонентах экосистем в результате естественного распада ^{241}Pu [8]. На рис. 21–24 представлена динамика загрязнения территории Гомельской обл. $^{238,239,240}\text{Pu}$ с 2026 по 2056 г.

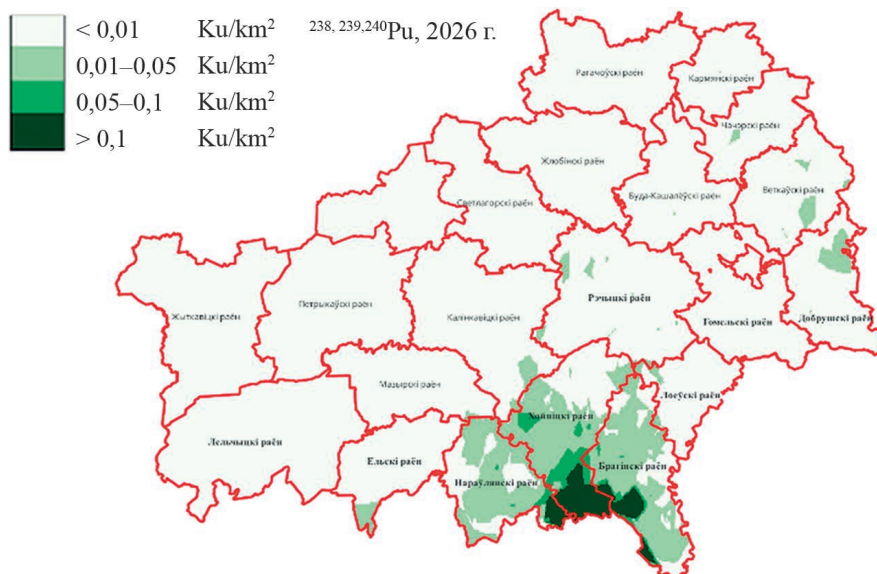


Рис. 21. Загрязнение территории Гомельской обл. $^{238,239,240}\text{Pu}$ на 2026 г.

Fig. 21. Pollution of the Gomel region by $^{238,239,240}\text{Pu}$ in 2026

Максимальный уровень загрязнения ^{241}Am , по нашим расчетам, установится к 2060 г. и превысит $^{238,239,240}\text{Pu}$ в 2,7 раза. При этом территории с уровнем загрязнения $^{238,239,240}\text{Pu} + ^{241}\text{Am}$ до 1000 Бк/м², возможно выйдут за пределы 30-километровой зоны вокруг Чернобыльской АЭС.

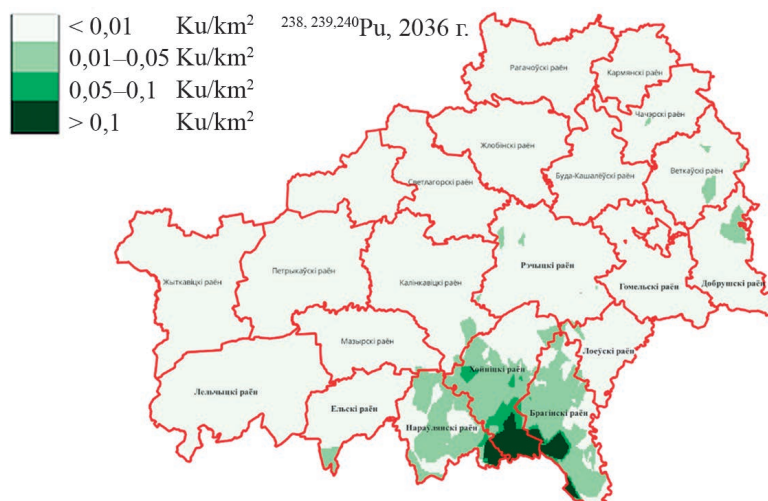


Рис. 22. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{238,239,240}Pu на 2036 г.

Fig. 22. Pollution of the Gomel region by ^{238,239,240}Pu in 2036

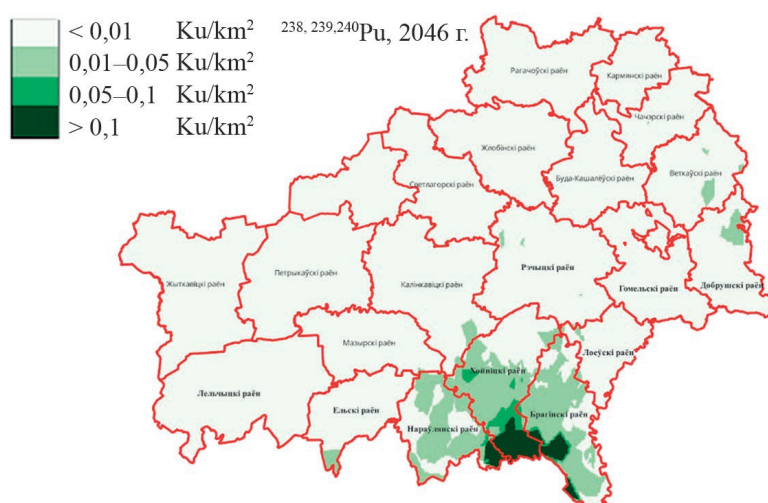


Рис. 23. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{238,239,240}Pu на 2046 г.

Fig. 23. Pollution of the Gomel region by ^{238,239,240}Pu in 2046

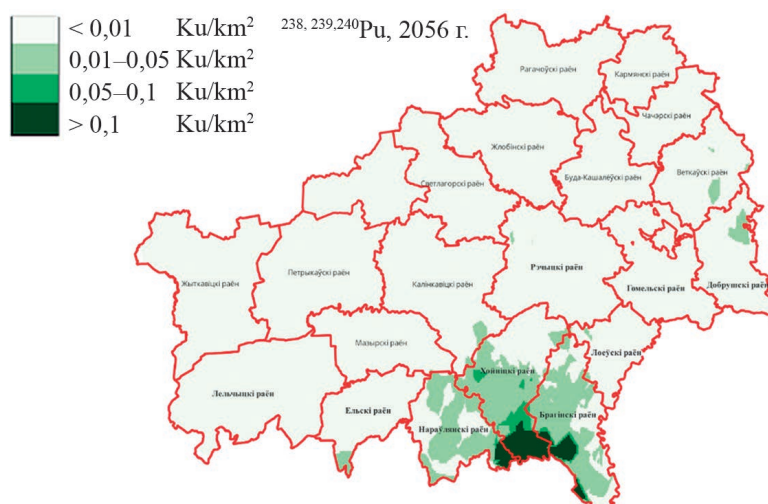


Рис. 24. Загрязнение территории Гомельской обл. ^{238,239,240}Pu на 2056 г.

Fig. 24. Pollution of the Gomel region by ^{238,239,240}Pu in 2056

Заключение

Настоящее исследование представляет собой комплексное геоинформационное моделирование загрязнения территорий Гомельской обл. основными доозообразующими радионуклидами ^{131}I , ^{132}Te , ^{103}Ru , ^{95}Nb , ^{239}Np , ^{99}Mo , ^{106}Ru , ^{140}Ba , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{95}Zr , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$ с учетом трех временных аспектов: ретроспективного анализа (1986–1990 гг.), оценки современного состояния (2020–2024 гг.) и построения долгосрочного прогноза (до 2056 г.). На основе интеграции данных радиометрических измерений, геологических и почвенных картограмм, а также результатов полевых исследований, разработана унифицированная пространственная база данных, охватывающая более 32 тыс. точек измерений за 40 лет.

Применение метода регрессионного кригинга позволило восстановить детализированные картограммы распределения радионуклидов с высокой точностью, а также количественно оценить влияние ключевых факторов окружающей среды.

Анализ динамики показал, что за 40 лет среднее содержание ^{137}Cs в почве на территории Гомельской обл. снизилось на 68 % в результате физического распада и процессов вертикальной миграции. По прогнозу к 2056 г. около 84 % территории Гомельской области будет иметь плотность загрязнения ^{137}Cs менее 37 кБк/м². Подвижность ^{90}Sr в почве и его более высокая биологическая доступность по сравнению с ^{137}Cs требуют особого внимания в контексте ведения аграрного производства.

Библиографические ссылки

1. Журавков ВВ, Цыбулько НН, Тонконогов БА. ГИС технологии при моделировании радиоактивного загрязнения территорий Беларуси в отдаленный период после аварии на ЧАЭС. Управление информационными ресурсами. В: Материалы XXI Международной научно-практической конференции. Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь; 2025. с. 400–402.
2. Журавков ВВ, Цыбулько НН, Журавков ЕВ. Инновационные цифровые технологии при моделировании радиоактивного загрязнения территорий Беларуси после аварии на ЧАЭС. Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика. В: Материалы VII Международной научно-технической конференции. Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ»; 2025. с. 78–81.
3. Загрязнение территории населенных пунктов Республики Беларусь ^{137}Cs , ^{90}Sr и Pu на январь 1998 г. Минск: Белгидромет; 1998.
4. Конопля ЕФ, Миронов ВП, Журавков ВВ. Радиация и Чернобыль. Короткоживущие радионуклиды на территории Беларуси. Минск: Белорусская наука; 2008. 198 с.
5. Миронов ВП, Журавков ВВ, Ананич ПИ, Булыга СФ, Матусевич ЖЛ. Определение количества и глубины выгорания уранового топлива в выпадениях на загрязненных территориях, после катастрофы на ЧАЭС, с помощью трассера урана-236. Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. 2005;4:121–123.
6. Mironov VV, Pribylev SV, Zhuravkov VV. The use of ^{236}U as a tracer of irradiated uranium. Security through Science series. 2009;2:13–21.
7. Миронов ВП, Матусевич ЖЛ, Кудряшов ВП, Ананич ПИ, Журавков ВВ. Методика определения глубины выгорания и количества уранового топлива в выпадениях на территории Беларуси, после катастрофы на ЧАЭС с помощью трассера U-236. В: Современные проблемы радиоэкологии. Сборник материалов научно-практической конференции. Минск: [б. и.]; 2002. с. 89–91.
8. Цыбулько НН, Герменчук МГ, Журавков ВВ. Радиоактивное загрязнение территории Беларуси: динамика, современное состояние и долгосрочный прогноз. Журнал БГУ. Экология. 2025;3:67–75.

Reference

1. Zhuravkov VV, Tsybulko NN, Tonkonogov BA. GIS tehnologii pri modelirovanii radioaktivnogo zagrjaznenija territorij Belarusi v otdalennyj period posle avarii na ChAJeS. Upravlenie informacionnymi resursami [GIS technologies in modeling radioactive contamination of the territories of Belarus in the late period after the Chernobyl accident]. In: Information Resource Management. Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference. Minsk: Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus; 2025. p. 400–402. Russian.
2. Zhuravkov VV, Tsybulko NN, Zhuravkov EV. Innovacionnye cifrovye tehnologii pri modelirovanii radioaktivnogo zagrjaznenija territorij Belarusi posle avarii na ChAJeS. Zashhita okruzhajushhej sredy ot jekotoksikantov: mezhdunarodnyj opyt i rossijskaja praktika [Innovative digital technologies in modeling radioactive contamination of the territories of Belarus after the Chernobyl accident. Environmental protection from ecotoxikants: international experience and Russian practice]. In: Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference. Ufa: UNPC «USPTU Publishing House»; 2025. p. 78–81. Russian.
3. Zagrjaznenie territorii naselennyh punktov Respubliki Belarus' ^{137}Cs , ^{90}Sr i Pu na janvar' 1998 g. [Contamination of the Territory of Settlements in the Republic of Belarus with ^{137}Cs , ^{90}Sr , and Pu as of January 1998]. Minsk: Belgidromet; 1998. Russian.
4. Konoplya EF, Mironov VP, Zhuravkov VV. Korotkozvivushhie radionuklidy na territorii Belarusi [Radiation and Chernobyl: Short-Lived Radionuclides on the Territory of Belarus]. Minsk: Belorusskaya navuka; 2008. 198 p. Russian.

5. Mironov VP, Zhuravkov VV, Ananich PI, Bulyga SF, Matusevich ZhL. *Opređenje količestva i glubiny vygoranija uranovogo topliva v vypadenijah na zagriznennyh territorijah, posle katastrofy na ChAJeS, s pomoshh'ju trassera urana-236* [Determination of the Amount and Burnup Depth of Uranium Fuel in Fallout from Contaminated Areas after the Chernobyl Disaster Using a Uranium-236 Tracer]. *Viesci Nacyjnal'noj akademii navuk Bielarusi. Sieryja fizika-techničnych navuk*. 2005;4:121–123. Russian.
6. Mironov VV, Pribylev SV, Zhuravkov VV. The use of ^{236}U as a tracer of irradiated uranium. *Security through Science series*. 2009;2:13–21.
7. Mironov VP, Matusevich ZhL, Kudryashov VP, Ananich PI, Zhuravkov VV. *Metodika opredelenija glubiny vygoranija i količestva uranovogo topliva v vypadenijah na territorii Belarusi, posle katastrofy na ChAJeS s pomoshh'ju trassera U-236* [Methodology for determining the burnup depth and the amount of uranium fuel in fallout on the territory of Belarus after the Chernobyl disaster using the U-236 tracer]. In: *Modern problems of radioecology: Collection of materials of scientific and practical conference*. Minsk: [publisher unknown]; 2002. p. 89–91. Russian.
8. Tsybulko NN, Germenchuk MG, Zhuravkov VV. *Radioaktivnoe zagriznenie territorii Belarusi: dinamika, sovremennoe sostojanie i dolgosrochnyj prognoz* [Radioactive contamination of the territory of Belarus: dynamics, current state, and long-term forecast]. *Journal of BSU. Ecology*. 2025;3:67–75. Russian.

Статья поступила в редколлегию 03.02.2026.
Received by editorial board 03.02.2026.

УДК 616-006-085

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОПУХОЛЕЙ В ЛЕГКИХ МЫШЕЙ ЛИНИИ Af

Н. Н. ВЕЯЛКИНА^{1), 2)}, О. Л. ФЕДОСЕНКО¹⁾, Е. А. МЕДВЕДЕВА¹⁾

¹⁾Институт радиобиологии, Национальная академия наук Беларуси,
ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь

²⁾Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
ул. Ильича, 290, 246040, г. Гомель, Беларусь

Исследования биологических эффектов ионизирующего излучения в последнее время приобретают актуальность в связи с широким развитием ядерных технологий в самых разнообразных сферах деятельности человека, а также ростом использования медицинского оборудования для визуализации, и как следствие, влияния ионизирующего излучения на организм человека в малых дозах. Ионизирующее излучение в малых дозах является причиной в большей степени стохастических эффектов, на проявление которых значительно будут влиять такие факторы, как генетическая предрасположенность организма к развитию патологии, а также внешние воздействия, например, влияние химических загрязнителей окружающей среды. Цель исследования: изучить влияние локального рентгеновского облучения грудного отдела мышей линии Af на спонтанное и химически-индуцированное образование опухолей в легких. Эксперименты проводились на лабораторных мышах линии Af обоего пола в возрасте 3 мес. на момент начала исследования. Облучение животных проводили с помощью рентгеновской установки биологического назначения X-Rad 320 Precision X-ray Inc. Локальное облучение грудного отдела животного достигалось при помощи экранирования защитными пластинами. Показано, что фракционированное локальное облучение грудного отдела мышей линии Af в общей дозе 5Гр повышает уровень спонтанного образования опухолей в легком, повышается как процент животных с опухолями (до 48,7 % при 27 % в контроле), так и количество опухолей на мышь (до 1,24 при 0,86 в контроле). При оценке влияния многократного локального облучения грудного отдела мышей линии Af в режиме рентгенографии раз в две недели на протяжении 9 мес. не отмечено негативного влияния проводимых манипуляций на общее состояние животных и на частоту образования опухолей в легком у животных в экспериментальных группах. Таким образом, многократное локальное облучение в малых дозах (в режиме рентгенографии) не влияет на уровень спонтанного канцерогенеза в легком мышей линии Af. При оценке влияния облучения грудного отдела мышей в режиме рентгенографии на канцерогенез в легких, вызванный введением раствора уретана, отмечено, что многократное локальное облучение в малых дозах стимулирует химически-индуцированный канцерогенез в легком мышей линии Af, вызывая рост количества и размеров опухолей в легких животных.

Ключевые слова: ионизирующее излучение; канцерогенез; лабораторные мыши; опухоли легких.

Образец цитирования:

Веялкина НН, Федосенко ОЛ, Медведева ЕА. Влияние локального облучения на образование опухолей в легких мышей линии Af. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2026;1:38–45.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-38-45>

For citation:

Veyalkina NN, Fedosenko OL, Miadzvedzeva AA. The effect of local irradiation on lung tumor formation in Af mice. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2026;1:38–45. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-38-45>

Авторы:

Наталья Николаевна Веялкина – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник¹⁾; ученый секретарь²⁾.
Ольга Леонидовна Федосенко – кандидат биологических наук; заместитель директора по научной работе.
Елена Анатольевна Медведева – младший научный сотрудник.

Authors:

Nataliya N. Veyalkina, PhD (biology); leading researcher^a; scientific secretary^b.
veyalkina@mail.ru
Olga L. Fedosenko, PhD (biology); deputy director for sciences.
olga.fedosenko@gmail.com
Alena A. Miadzvedzeva, junior researcher.
irb-2013@yandex.by

THE EFFECT OF LOCAL IRRADIATION ON LUNG TUMOR FORMATION IN AF MICE

N. N. VEYALKINA^{a, b}, O. L. FEDOSENKO^a, A. A. MIADZVEDZEVA^a

^a*Institute of Radiobiology, National Academy of Sciences of Belarus,
4 Fedjuninskaya Street, Gomel 246007, Belarus*

^b*Republican Scientific and Practical Center for Radiation Medicine and Human Ecology,
290 Ilyicha Street, Gomel 246040, Belarus*

Corresponding author: N. N. Veyalkina (veyalkina@mail.ru)

Studies of the biological effects of ionizing radiation have recently become actual due to the expansion of the implement of nuclear technologies in a variety of human activities. Especially it important for using of medical imaging when human body is often exposed by low-dose ionizing radiation. Ionizing radiation at low doses is the cause of stochastic effects, which are depended on influence by many another factors, such as the genetic predisposition or chemical environmental pollutants. The aim of this study was to investigate the effect of spontaneous and chemically induced tumor formation in the lungs of Af mice after local X-ray irradiation of the thoracic region. Af mice of both sexes were 3 months old at the start of the study. Animals were irradiated using an X-Rad 320 Precision X-ray Inc. biological X-ray system. Local irradiation of the thoracic region was achieved by shielding with protective plates. Fractionated local irradiation of the thoracic region of Af mice with a total dose of 5 Gy increase the frequency of spontaneous lung tumors. Both the percentage of animals with tumors (up to 48,7 % versus 27 % in controls) and the number of tumors per mouse (up to 1,24 versus 0,86 in controls) grew up. Neither worsening of general health status nor growth of tumor rates were found after repeated (every two weeks for 9 months) local irradiation by radiography doses. Thus, we concluded that repeated local radiography low-dose irradiation did not affect the rate of spontaneous lung carcinogenesis in Af mice. But in combination with urethane solution repeated irradiation by radiography doses stimulated chemically induced carcinogenesis in the lungs of Af mice: increased in the number and size of tumors.

Keywords: ionizing radiation; carcinogenesis; laboratory mice; lung tumors.

Введение

В последнее время неуклонно растет влияние ионизирующего излучения на организм человека, обусловленное широким развитием ядерных технологий в самых разнообразных сферах деятельности человека, в том числе ростом использования медицинского оборудования для визуализации [1; 2]. При этом формируется ситуация планируемого облучения в малых дозах, профессионального или медицинского.

Ионизирующее облучение в малых дозах является причиной в большей степени стохастических эффектов, на проявление которых значительно будут влиять такие факторы, как генетическая предрасположенность организма к развитию патологии, а также внешние воздействия, например, влияние химических загрязнителей окружающей среды [3]. На основании экспериментальных и эпидемиологических исследований выдвигаются противоречивые гипотезы о риске развития рака при облучении в малых (< 100 мЗв) дозах [4; 5]. На сегодняшний день большое количество исследований свидетельствуют о повышенном риске возникновения новообразований при облучении в малых дозах, отмечая, что риск развития рака при облучении здоровых тканей в малых дозах может быть выше, чем риск, рассчитанный с использованием линейной беспороговой модели [8; 9].

Значительное увеличение как аппаратов для рентгеновской визуализации, так и диагностических исследований вызывает настороженность по поводу негативных последствий влияния ионизирующего излучения для здоровья человека [2]. В Беларуси с 2018 г. количество рентгеновских аппаратов компьютерной томографии (КТ) увеличилось практически вдвое, что увеличивает доступность современных методов диагностики для населения.

Типичная КТ грудной клетки может дать дозу облучения, эквивалентную 50–450 парам (задне-передняя и боковая проекции) рентгенограмм грудной клетки, в зависимости от используемого протокола КТ [6]. Эквивалент эффективной дозы облучения при рентгенографии органов грудной клетки в двух проекциях составляет от 0,06 до 0,25 мЗв. Соответствующие дозы при КТ с использованием стандартных параметров обследования составляют 3–27 мЗв и 0,3–0,55 мЗв при использовании параметров КТ с низкой дозой облучения.

Количество рентгеновских диагностических исследований растет также из-за проведения скрининговых исследований, направленных на раннее выявление патологий. Но не будет ли воздействие ионизирующего излучения провоцировать развитие онкологических заболеваний при наличии генетической предрасположенности или при одновременном воздействии химического канцерогена?

Изучение канцерогенного действия облучения в малых дозах в рамках эпидемиологических исследований связано с рядом трудностей [3].

Так, для качественных эпидемиологических исследований влияния облучения в малых дозах на образование опухолей необходимы объемные выборки (порядка 10 млн человеко-лет наблюдения на 10 мЗв) [3]. Определенные сложности при выполнении исследования создает влияние сопутствующих факторов, социально-экономических (приверженность и/или возможность получения своевременной медицинской помощи), совместного влияния химических веществ, присутствующих в окружающей среде человека при его профессиональной деятельности или в силу вредных привычек, например курение [10].

Таким образом, отмечается важность и необходимость исследований на лабораторных животных для оценки риска возникновения новообразований, связанного с облучением в малых дозах.

На сегодняшний день доказана роль генетической предрасположенности к опухолеобразованию как у человека, так и у животных. Лабораторные мыши являются наиболее часто используемым видом лабораторных животных в экспериментальных моделях канцерогенеза.

Мышиные линии, которым характерно спонтанное образование опухолей легких, более чувствительны к индуцированным пролиферативным повреждениям.

Мыши линии Af характеризуется тем, что у интактных животных с возрастом возникают спонтанные опухоли тела и, в частности, опухоли легких [7]. Эта линия чувствительна к воздействию химических канцерогенов и мутагенов, показано развитие значительного количества опухолей в легких мышей линии Af (около 40 опухолей на мышь) при внутрибрюшинном введении раствора уретана [11].

Целью работы было изучить влияние локального рентгеновского облучения грудного отдела мышей линии Af на спонтанное и химически-индуцированное образование опухолей в легких.

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились на лабораторных мышах линии Af обоего пола в возрасте 3 мес. на момент начала исследования. Животных содержали в условиях стационарного вивария Государственного научного учреждения «Институт радиобиологии НАН Беларуси». Эксперименты выполнялись в соответствии с международными рекомендациями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях [12].

Были проведены две серии экспериментов:

- оценка влияния фракционированного облучения грудного отдела: 5 ежедневных фракций в дозе 1 Гр (напряжение на трубке 320 кВ, сила тока 12,5 мА, фильтр № 2 (1,5 мм Al, 0,25 мм Cu, 0,75 мм Sn); расстояние до объекта 50 см, мощность дозы 0,98 Гр/мин) и многократного локального облучения в режиме рентгенографии (1 раз в две недели в дозе 150 мкГр (напряжение на трубке 40 кВ, сила тока 3 мА, мощность дозы 30 мкГр/с, фильтр № 1 (2,0 мм Al); расстояние до объекта 55 см)) в течение 9 мес., на спонтанное образование опухолей в легких, были сформированы следующие 4 группы мышей по 20 самцов и самок в каждой, срок наблюдения составил 9 мес.;

- оценка влияния многократного локального облучения в режиме рентгенографии (в дозе 150 мкГр (напряжение на трубке 40 кВ, сила тока 3 мА, мощность дозы 30 мкГр/с, фильтр № 1 (2,0 мм Al); расстояние до объекта 55 см) 1 раз в две недели в течение 6 мес.) на индуцированное образование опухолей в легких при внутрибрюшинном введении раствора уретана в дозе 1 г/кг, раствор уретана вводился однократно до начала облучения, облучение проводилось в течение всего периода эксперимента, контрольная и опытная группы состояли из 20 самцов и самок.

Процедуры облучения мышей проводили при помощи рентгеновской установки биологического назначения *X-Rad 320 Precision X-ray Inc.* Локальное облучение грудного отдела животного достигалось экранированием при помощи защитных пластин.

Животных выводили из эксперимента путем декапитации на фоне глубокого эфирного наркоза. Затем проводили забор крови, вскрытие, осмотр, выделение и взвешивание внутренних органов. Легкие животных фиксировали в 10 % формалине и затем изучали при помощи бинокулярного микроскопа (увеличение 8×4). Проводилась оценка частоты появления опухолей (% мышей с аденомами) и количества аденом/мышь.

Статистический анализ. При оценке частоты образования опухолей использовали точный критерий Фишера. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимался равным 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние ионизирующего излучения на спонтанное образование опухолей. На момент окончания эксперимента возраст животных составлял 12 мес., гибели животных в ходе эксперимента не отмечено. Прирост массы животных контрольных и опытных групп был положительным.

При некропии не отмечено макроскопических изменений и изменений массовых показателей внутренних органов как расположенных в зоне облучения (сердце, легкие), так и вне зоны облучения (печень, селезенка, почки).

Доля животных с опухолями в легких в группах контроля составила 27,0 % (95 % ДИ 13,79-м), и 25,7 % (95 % ДИ 12,49–43,26) (табл.). У животных с опухолью было отмечено 1 или 2 новообразования небольшого размера в диаметре 0,5–1,7 мм. в независимости от пола и доли легкого, среднее количество опухолей на мышь составило от $0,61 \pm 0,35$ до $0,94 \pm 0,22$ в зависимости от срока наблюдения.

Поглощенная доза 5,0 Гр на грудную полость в данном эксперименте вызывала значительное возрастание частоты образования опухолей легкого у мышей линии Af доля мышей с опухолями составила 48,7 % (95 % ДИ 32,42–32,42). Среднее количество опухолей на мышь составляло 1,24.

Частота выявления опухолей в легких мышей линии Af

Tumor incidence in the lungs of Af mice

Группа	Доля мышей с опухолями, %	95 %, Доверительный интервал		Р	Количество опухолей на мышь
		нижняя граница	верхняя граница		
Контроль	27,0	13,79	44,12		0,86
5,0 Гр	48,7	32,42	32,42	0,043	1,24
Контроль	25,7	12,49	43,26		0,68
2 700 мкГр (рентгенография)	39,4	22,91	57,86	0,172	1,09

Через 9 мес. многократного облучения в режиме рентгенографии доза облучения грудной полости мышей составила 2700 мкГр, процент животных с опухолями легкого составил 39,4 % (95 % ДИ от 22,91 до 57,86) при 25,7 % (95 % ДИ от 12,49 до 43,26) в группе возрастного контроля (табл.), количество возросло до 1,09 при 0,68 в контроле.

Оценка влияния локального облучения на химически-индуцированный канцерогенез. Доля животных с опухолями в легких в группе контроля через 3 мес. составила 13,5 % (95 % ДИ 4,54–28,77), а через 6 мес. 25,7 % (95 % ДИ 12,49–43,26). У животных с опухолью было отмечено 1 или 2 новообразования в независимости от пола и доли легкого, среднее количество опухолей на мышь составило от $0,61 \pm 0,35$ до $0,94 \pm 0,22$ в зависимости от срока наблюдения.

При введении раствора уретана опухоли легких наблюдались у всех без исключения животных. Если в контрольных группах животных наблюдали образование небольших, до 2 мм в диаметре, единичных, не более 1–2 опухолей, то при введении уретана в легких мышей отмечалось образование множественных опухолей во всех долях легкого, разнообразных по размеру, часто встречались крупные около 5 мм в диаметре, плотные новообразования (рис. 1).

Через 3 мес. после введения уретана количество опухолей на мышь составило $12,45 \pm 1,49$. При дополнительном многократном облучении в дозе 150 мкГр (общая доза на грудную полость составила 9000 мкГр) количество опухолей на мышь значительно возросло и составило в среднем $18,14 \pm 1,58$ (рис. 2). Значимо возросло количество опухолей на мышь в группе самок, которых облучали после введения уретана.

Через 6 мес. от начала эксперимента в группе животных, которым был введен раствор уретана возросло количество опухолей в легком до $19,35 \pm 1,29$, а при дополнительном многократном облучении (доза облучения за 6 мес. составила 1800 мкГр) – $29,23 \pm 1,83$, изменения были значимыми вне зависимости от пола.

При введении уретана, и в большей степени при сочетании радиационного и химического факторов, отмечен рост не только количества, но и размеров новообразований. Через 6 мес. после начала эксперимента у животных в легких наблюдались множественные плотные новообразования как внутри, так и на поверхности легкого, во всех его долях (рис. 1).

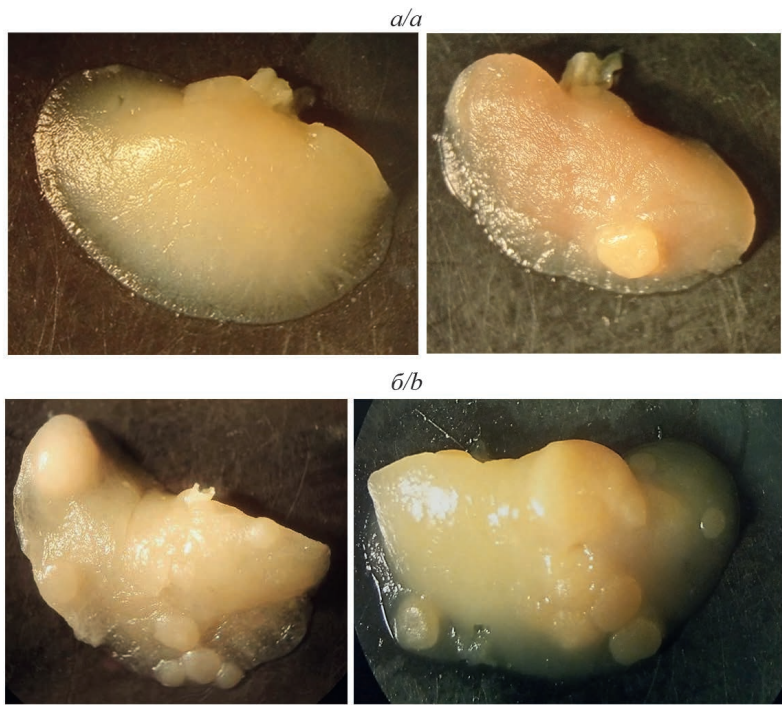


Рис. 1. Общий вид доли легкого мышей в контроле (а) и при химически-индуцированном канцерогенезе через 6 мес. после введения уретана (б)

Fig. 1. General view of the lung lobe of mice in the control (a) and in chemically-induced carcinogenesis 6 months after the introduction of urethane (b)

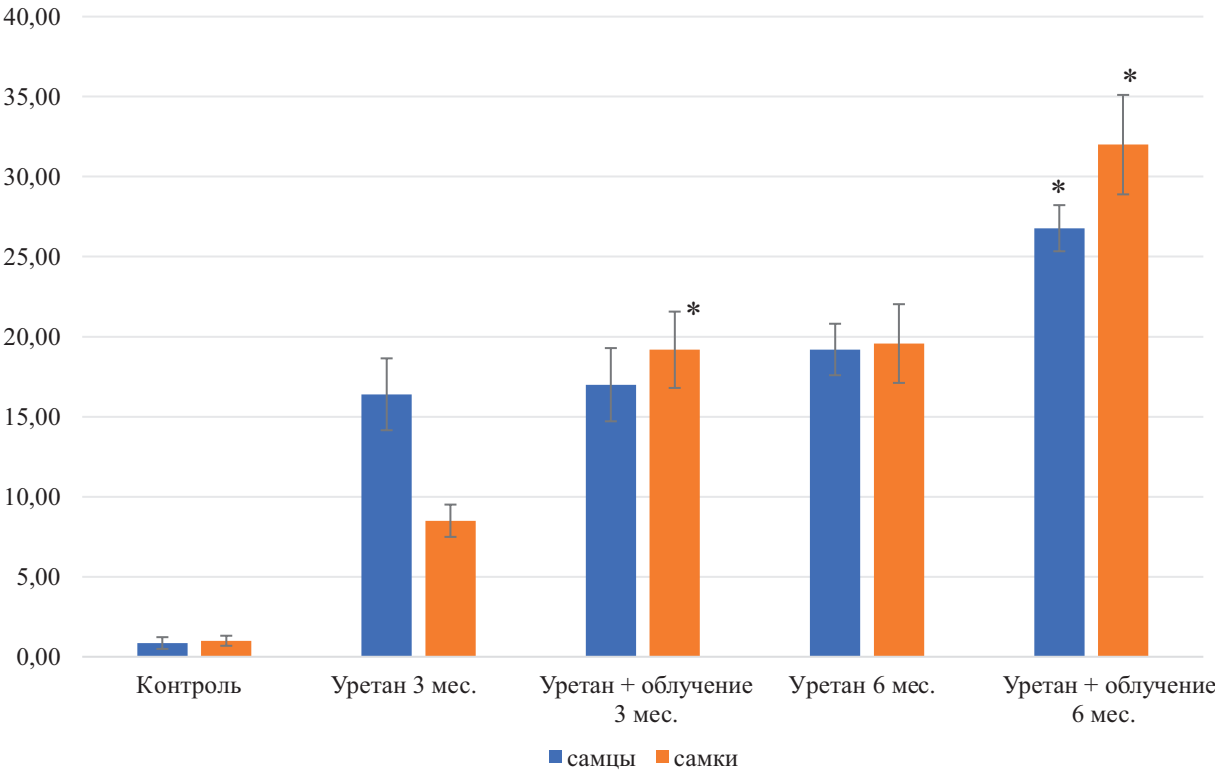


Рис. 2. Изменение количества опухолей на мышь при химически-индуцированном канцерогенезе с и без облучения
* $p < 0,05$ по сравнению с соответствующей группой контроля

Fig. 2. Change in the number of tumors per mouse in chemically induced carcinogenesis with and without irradiation
* $p < 0.05$ compared to the corresponding control group

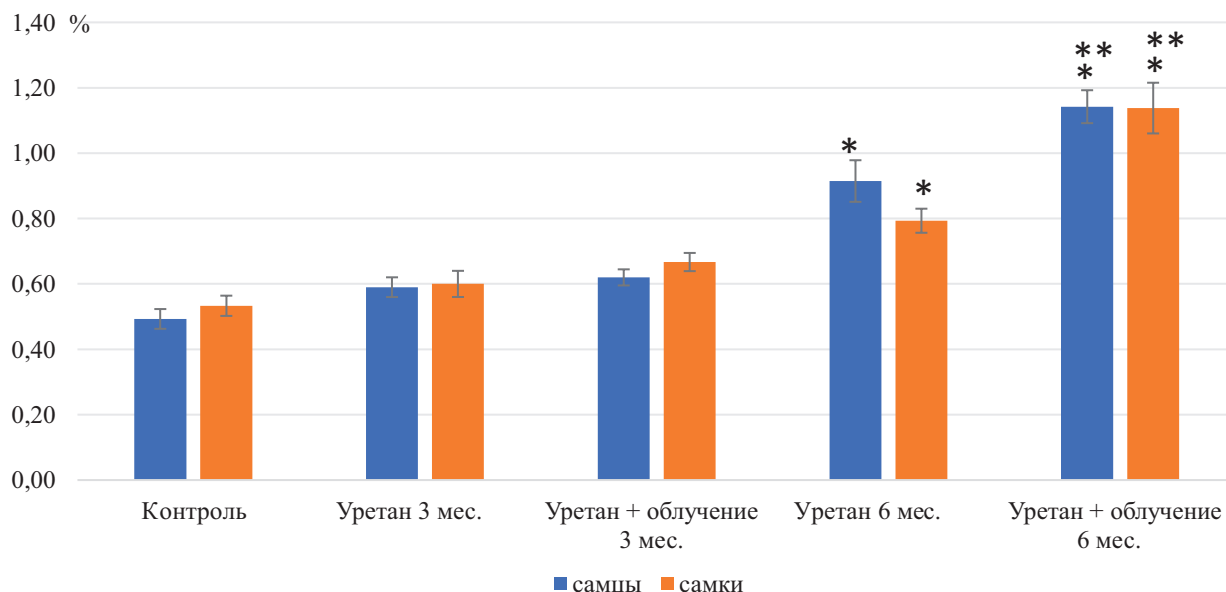


Рис. 3. Изменение относительной массы легкого мышей при химически-индуцированном канцерогенезе с и без облучения
* $p < 0,05$ по сравнению с соответствующей группой «Уретан 3 мес.»; ** $p < 0,05$ по сравнению с группой «Уретан 6 мес.»

Fig. 3. Change in relative lung weight in mice during chemically induced carcinogenesis with and without irradiation

* $p < 0.05$ compared to the corresponding «Urethane 3 months» group; ** $p < 0.05$ compared to the «Urethane 6 months» group

При взвешивании легких отмечен значительный рост относительной массы легких у животных, которым был введен уретан и в группах с дополнительным облучением (рис. 3), что непосредственно было связано с ростом опухолей.

В представленной работе предпринята попытка смоделировать в эксперименте несколько вариантов медицинского облучения человека, имеющего генетическую предрасположенность к онкологическим заболеваниям: нецелевое облучение здоровых тканей при лучевой терапии злокачественных новообразований (локальное облучение грудного отдела равными фракциями по 1 Гр, общая доза облучения 5 Гр); ежегодное диагностическое облучение грудного отдела (однократная доза облучения составила 150 мкГр, за 9 мес. эксперимента доза облучения составила 2700 мкГр); ежегодное диагностическое облучение грудного отдела в условиях влияния химического канцерогена (однократная доза облучения составила 150 мкГр, за 6 мес. эксперимента доза облучения составила 1800 мкГр).

Радиационное локальное воздействие в дозе 5 Гр в данном эксперименте вызывало значительное возрастание частоты образования опухолей у мышей линии Af и увеличение количества опухолей на животное.

Радиационное многократное воздействие в режиме рентгенографии вызывало не значимое возрастание частоты образования опухолей у мышей линии Af.

Показатели опухолеобразования в обоих случаях были сравнимы с таковыми у животных более возрастных групп, например, в случае животных в возрасте 16 мес., как было показано нами ранее на мышах данной линии [7]. При этом в данных экспериментах не отмечено возрастания количества опухолей на животное, которое наблюдается при химически-индуцированном канцерогенезе. Полученные результаты позволяют предположить, что данное радиационное воздействие являлось причиной возникновения генетически-детерминированного опухолеобразования в более раннем возрасте.

Многими авторами подчеркивается высокая значимость генетического фактора при радиационном канцерогенезе [13], возраста облучаемых животных и доз и режимов облучения [14], что согласуется с представленными результатами.

В ряде исследований также изучалось совместное влияние радиационного и химического факторов на образование опухолей у животных предрасположенных к раку. Так, на мышах, с регулируемой экспрессией онкогена Ki-ras, четырехкратное облучение рентгеновскими лучами в дозах от 5 до 25 мГр после введения доксициклина вызывало увеличение количества опухолей в легких по сравнению с контрольной группой, получавшей только доксициклин [15].

Мышей дикого типа А/Ј подвергали воздействию 4-(метилнитрозоамино)-1-(3-пиридил)-1-бутанона в возрасте 8 недель для имитации последствий курения. Было обнаружено, что повышается частота возникновения новообразований в легких и возрастает объем опухоли у данных мышей, подвергшихся облучению рентгеновскими лучами один раз в неделю в течение 4 недель дозой 10, 30 или 50 мГр [16].

Заключение

Таким образом, показано, что фракционированное локальное облучение грудного отдела мышей линии Af в общей дозе 5 Гр повышает уровень спонтанного образования опухолей в легком, повышается как процент животных с опухолями (до 48,7 % при 27 % в контроле), так и количество опухолей на мышь (до 1,24 при 0,86 в контроле).

При оценке влияния многократного локального облучения грудного отдела мышей линии Af в режиме рентгенографии раз в две недели на протяжении 9 мес. не отмечено негативного влияния проводимых манипуляций на общее состояние животных и на частоту образования опухолей в легком животных в экспериментальных группах. Сделан вывод, что многократное локальное облучение в малых дозах (в режиме рентгенографии) не влияет на уровень спонтанного канцерогенеза в легком мышей линии Af.

При оценке влияния многократного облучения грудного отдела мышей в режиме рентгенографии на канцерогенез в легких, вызванный введением раствора уретана, отмечено, что многократное локальное облучение в малых дозах стимулирует химически-индуцированный канцерогенез в легком мышей линии Af, вызывая рост количества и размеров опухолей в легких животных.

Библиографические ссылки

1. Ulsh BA. The new radiobiology: returning to our roots. *Dose Response*. 2012; 10(4):593–609.
2. UNSCEAR 2024 Report Volume I. Sources, effects and risks of ionizing radiation [Internet, cited 10 August 2025]. Available from: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2024_1.html.
3. Ильин ЛА, Кириллов ВФ, Коренков ИП. *Радиационная гигиена*. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2010. 384 с.
4. Hauptmann M, Byrnes G, Cardis E, et al. Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study. *Lancet Oncol*. 2023;24(1):45–53. Doi: 10.1016/S1470-2045(22)00655-6.
5. Hamada N. Cancer and Non-Cancer Effects Following Ionizing Irradiation. *Cancers (Basel)*. 2024;16(6):1141. Doi: 10.3390/cancers16061141.
6. Sykes PJ, Day TK, Swinburne SJ, et al. *In vivo* mutagenic effect of very low dose radiation. *Dose Response*. 2006;4(4):309–16. Doi: 10.2203/dose-response.06-004.Sykes.
7. Тимохина НИ, Надыров ЭА, Веякина НН, и др. Генетически-обусловленное образование опухолей в легких мышей линии Af при влиянии радиационного и химического факторов, и старении. *Журнал анатомии и гистопатологии*. 2018;7(3):56–60.
8. Piotrowski I, Kulcenty K, Suchorska WM, et al. Carcinogenesis Induced by Low-dose Radiation. *Radiol Oncol*. 2017;51(4):369–377. Doi: 10.1515/raon-2017-0044.]
9. Hauptmann M, Daniels RD, Cardis E, et al. Epidemiological Studies of Low-Dose Ionizing Radiation and Cancer: Summary Bias Assessment and Meta-Analysis. *Journal of the National Cancer Institute Monographs*. 2020;2020(56):188–200. Doi: 10.1093/jncimonographs/igaa010.
10. Kitahara CM, Linet MS, Rajaraman P, et al. New Era of Low-Dose Radiation Epidemiology. *Curr Environ Health Rep*. 2015;2(3):236–249. Doi: 10.1007/s40572-015-0055-y. PMID: 26231501; PMCID: PMC10267798.
11. Гончаров СВ, Чешик ИА. Модификация опухолевых эффектов в легких лабораторных мышей экстрактами лишайников. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2021;65(4):474–483. Doi: 10.29235/1561-8323-2021-65-4-474-483.
12. European Union. 2010. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes *Official Journal of the European Union*. L276/33.
13. Paunesku T, Stevanović A, Popović J. Effects of low dose and low dose rate low linear energy transfer radiation on animals – review of recent studies relevant for carcinogenesis. *International Journal of Radiation Biology*. 2021;97(6):757–768. Doi: 10.1080/09553002.2020.1859155.
14. Yamada Y, Iwata KI, Blyth BJ. Effect of Age at Exposure on the Incidence of Lung and Mammary Cancer after Thoracic X-Ray Irradiation in Wistar Rats. *Radiation Research*. 2017;187(2):210–220. Doi: 10.1667/RR14478.1. Epub 2017 Jan 30.
15. Munley MT, Moore JE, Walb MC, et al. Cancer-prone mice expressing the Ki-rasG12C gene show increased lung carcinogenesis after CT screening exposures. *Radiation Research*. 2011;176(6):842–848.
16. Miller MS, Moore JE, Walb MC, et al. Chemoprevention by N-acetylcysteine of low-dose CT-induced murine lung tumorigenesis. *Carcinogenesis*. 2013;34(2):319–324.

References

1. Ulsh BA. The new radiobiology: returning to our roots. *Dose Response*. 2012; 10(4):593–609.
2. UNSCEAR 2024 Report Volume I. Sources, effects and risks of ionizing radiation [Internet, cited 10 August 2025]. Available from: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2024_1.html.
3. Ilin LA, Kirilov VF, Korenkov IP. *Radiatsionnaya ghygena: uchebnik dlia vuzov* [Radiation Hygiene: A Textbook for Universities]. Moscow: GEOTAR-Media; 2010. 384 p. Russian.

4. Hauptmann M, Byrnes G, Cardis E, et al. Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study. *Lancet Oncol.* 2023;24(1):45–53. Doi: 10.1016/S1470-2045(22)00655-6.
5. Hamada N. Cancer and Non-Cancer Effects Following Ionizing Irradiation. *Cancers (Basel).* 2024;16(6):1141. Doi: 10.3390/cancers16061141.
6. Sykes PJ, Day TK, Swinburne SJ, et al. *In vivo* mutagenic effect of very low dose radiation. *Dose Response.* 2006;4(4):309–16. Doi: 10.2203/dose-response.06-004.Sykes.
7. Timokhina NI, Nadyrov EA, Veyalkina NN, et al. *Geneticheski-obuslovlennoe obrazovanie opuholey v legkih myshey linii Af pry vliyani radiatsionnogo i himicheskogo faktorov, I starenii* [Genetically-caused tumor formation in lungs of mice of line Af under influence of radiation and chemical factors, and at aging]. *Journal of Anatomy and Histopathology.* 2018;7(3):56–60. Russian.
8. Piotrowski I, Kulcenty K, Suchorska WM, et al. Carcinogenesis Induced by Low-dose Radiation. *Radiol Oncol.* 2017;51(4):369–377. Doi: 10.1515/raon-2017-0044.]
9. Hauptmann M, Daniels RD, Cardis E, et al. Epidemiological Studies of Low-Dose Ionizing Radiation and Cancer: Summary Bias Assessment and Meta-Analysis. *Journal of the National Cancer Institute Monographs.* 2020;2020(56):188–200. Doi: 10.1093/jncimonographs/lgaa010.
10. Kitahara CM, Linet MS, Rajaraman P, et al. New Era of Low-Dose Radiation Epidemiology. *Curr Environ Health Rep.* 2015;2(3):236–249. Doi: 10.1007/s40572-015-0055-y. PMID: 26231501; PMCID: PMC10267798.
11. Goncharov SV, Cheshik IA. *Modifikatsiya opuholevyh effektov v legkih laboratornyh myshey ekstraktami lishynikov* [Modifying the tumor effects in the lungs of laboratory mice with lichen extracts]. *Doklady Natsionalnoi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus]. 2021;65(4):474–483. Russian.
12. European Union. 2010. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes *Official Journal of the European Union.* L276/33.
13. Paunesku T, Stevanović A, Popović J. Effects of low dose and low dose rate low linear energy transfer radiation on animals – review of recent studies relevant for carcinogenesis. *International Journal of Radiation Biology.* 2021;97(6):757–768. Doi: 10.1080/09553002.2020.1859155.
14. Yamada Y, Iwata KI, Blyth BJ. Effect of Age at Exposure on the Incidence of Lung and Mammary Cancer after Thoracic X-Ray Irradiation in Wistar Rats. *Radiation Research.* 2017;187(2):210–220. Doi: 10.1667/RR14478.1. Epub 2017 Jan 30.
15. Munley MT, Moore JE, Walb MC, et al. Cancer-prone mice expressing the Ki-rasG12C gene show increased lung carcinogenesis after CT screening exposures. *Radiation Research.* 2011;176(6):842–848.
16. Miller MS, Moore JE, Walb MC, et al. Chemoprevention by N-acetylcysteine of low-dose CT-induced murine lung tumorigenesis. *Carcinogenesis.* 2013;34(2):319–324.

Статья поступила в редколлегию 08.12.2025.
Received by editorial board 08.12.2025.

УДК 630.9:614.876.084(047.1)

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕСНОГО ФОНДА: РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Л. Н. КАРБАНОВИЧ¹⁾

¹⁾Государственное учреждение по защите и мониторингу леса «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА»,
ул. Парковая, 26а, 223031, аг. Ждановичи, Минский район, Минская область, Беларусь

На территории лесного фонда Министерства лесного хозяйства, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, реализуется комплекс защитных мер для соблюдения норм и правил по обеспечению радиационной безопасности, регламентируется лесохозяйственная деятельность с учетом показателей радиационной обстановки: плотности загрязнения почв цезием-137 (далее – плотность загрязнения ^{137}Cs), мощности дозы гамма-излучения, уровней содержания ^{137}Cs в лесной продукции. Контроль радиоактивного загрязнения является составной частью организационно-технических защитных мер, обеспечивает предоставление оперативной информации для принятия организационных решений при ведении лесного хозяйства. Информация о показателях радиационной обстановки постоянно актуализируется при проведении радиационного обследования земель лесного фонда, лесосек, радиационного контроля лесной продукции – древесины (деловой древесины и дров), дикорастущих ягод, грибов, березового сока, меда. Результаты радиационного обследования используются для отнесения лесных кварталов к зонам радиоактивного загрязнения, для проведения рубок леса при условии получения нормативно чистых лесоматериалов. Радиационный контроль лесной продукции проводится с целью определения соответствия содержания радионуклидов ^{137}Cs допустимым (референтным) уровням, направлений использования древесины (лесоматериалы круглые, топливо древесное). Ежегодно устанавливают уменьшение площади радиоактивного загрязнения лесного фонда. В 2025 г. по сравнению с 2024 г. площадь уменьшилась на 13,8 тыс. га или на 1,15 %, за последние 5 лет – на 48,1 тыс. га (3,89 %), 10 лет – на 187,1 тыс. га (13,6 %). Площадь лесов с высокой плотностью загрязнения (15 Ки/км² и более) уменьшилась с 2021 г. на 14,7 тыс. га или 16,2 %. По мере уменьшения плотности загрязнения уменьшается мощность дозы гамма-излучения до 2,0 % в год. По результатам радиационного контроля лесной продукции устанавливают превышение допустимых уровней содержания ^{137}Cs в деловой древесине до 2,0 % в год, пищевой продукции леса до 40 % с наибольшей долей проб с превышением в грибах, дикорастущих ягодах. К настоящему времени с достаточной достоверностью известны уровни содержания ^{137}Cs в древесине в пределах лесных кварталов, таксационных выделов, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения. Получение информации о содержании ^{137}Cs в древесине в текущем периоде и в прогнозе на заданную дату, в том числе с визуализацией на карте, обеспечивается применением функций специализированной информационной системы «Радиоактивное загрязнение лесов "RadFor"». Положительные изменения в радиационной обстановке в лесах, значительный объем информации о результатах контроля радиоактивного загрязнения лесного фонда, лесной продукции, накопленный опыт, использование современных технологий хранения и обработки данных могут быть использованы для оптимизации защитных мер в отдаленный период после аварии.

Ключевые слова: лесное хозяйство; защитные меры; радиоактивное загрязнение; лесной фонд; лесная продукция; радиационный контроль; референтные уровни.

Образец цитирования:

Карбанович ЛН. Радиационная обстановка на территории лесного фонда: результаты контроля радиоактивного загрязнения. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2026;1:46–54.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-46-54>

For citation:

Karbanovitch LN. Radiation situation in the forest fund territory: radioactive contamination monitoring results. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2026;1:46–54. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-46-54>

Автор:

Лариса Николаевна Карбанович – ведущий инженер отдела радиационной безопасности.

Author:

Larisa N. Karbanovitch, leading engineer of the department of radiation safety.
larissakarb@gmail.com

RADIATION SITUATION IN THE FOREST FUND TERRITORY: RADIOACTIVE CONTAMINATION MONITORING RESULTS

L. N. KARBANOVITCH^a

^aState Agency for Forest Protection and Monitoring «BELLESOZATCHITA»,
26a Pryamaya Street, Zhdanovichy 223031, Minsk district, Minsk region, Belarus

On the territory of the forest fund of the Ministry of Forestry, which was subjected to radioactive contamination as a result of the Chernobyl accident, a set of protective measures is being implemented to comply with the norms and rules for ensuring radiation safety. Forestry activities are regulated taking into account indicators of the radiation situation: the soil contamination density with cesium-137 (^{137}Cs) (hereinafter – contamination density), the gamma radiation dose rate, and the content levels of ^{137}Cs in forest products. The control of radioactive contamination is an integral part of organizational and technical protective measures and provides operational information for making organizational decisions in forestry. Information on radiation situation indicators is constantly updated during radiation surveys of forest fund lands, logging sites, and radiation control of forest products – wood (commercial wood and firewood), wild berries, mushrooms, birch sap, and honey. The results of the radiation survey are used to classify forest blocks into radioactive contamination zones and for conducting logging, provided that normatively clean timber is obtained. Radiation control of forest products is carried out to determine the compliance of the ^{137}Cs radionuclide content with permissible (reference) levels and to define the directions of wood use (round timber, fuel wood). A decrease in the area of radioactive contamination of the forest fund is established annually. In 2025, compared to 2024, the area decreased by 13.8 thousand ha, or by 1.15 %; over the past 5 years – by 48.1 thousand ha (3.89 %); and over 10 years – by 187.1 thousand ha (13.6 %). The area of forests with high contamination density (15 Ci/km² or more) has decreased since 2021 by 14.7 thousand hectares, or by 16.2 %. As the contamination density decreases, the gamma radiation dose rate decreases by up to 2.0 % per year. According to the results of radiation monitoring of forest products, an excess of permissible levels of ^{137}Cs content in commercial timber is established in up to 2.0 % of cases per year, and in forest food products – in up to 40 % of cases, with the largest share of samples exceeding the norms found in mushrooms and wild berries. To date, with sufficient reliability, the content levels of ^{137}Cs in wood within forest blocks and taxation units classified as radioactive contamination zones are known. Obtaining information about the ^{137}Cs content in wood for the current period and in the forecast for a given date, including visualization on a map, is provided by the functions of the specialized information system «Radioactive Contamination of Forests “RadFor”». Positive changes in the radiation situation in forests, a significant amount of information on the results of monitoring radioactive contamination of the forest fund and forest products, accumulated experience, and the use of modern data storage and processing technologies can be used to optimize protective measures in the long-term period after the accident.

Keywords: forestry; protective measures; radioactive contamination; forest fund; forest products; radiation monitoring; reference levels.

Введение

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС территории лесного фонда Республики Беларусь подверглись радиоактивному загрязнению на площади 20,1 тыс. км². В лесах, находящихся в ведении Министерства лесного хозяйства, каждый четвертый лесной квартал был загрязнен цезием-137 с плотностью 1 Ки/км² и более. Ведение лесного хозяйства, направленное на сохранность средообразующих, водоохраных, защитных свойств лесов, в том числе от вторичного радиоактивного загрязнения, носит непрерывный характер. На загрязненных радионуклидами территориях реализуется комплекс защитных мер для соблюдения норм и правил по обеспечению радиационной безопасности, регламентируется лесохозяйственная деятельность с учетом показателей радиационной обстановки: плотности загрязнения почв цезием-137 (^{137}Cs), мощности дозы гамма-излучения, уровней содержания ^{137}Cs в лесной продукции. Такие направления деятельности, как лесовосстановление и лесоразведение, противопожарное устройство и охрана лесов от пожаров, защита лесов от вредителей и болезней осуществляются во всех зонах радиоактивного загрязнения. Вводятся ограничения на осуществление лесопользования (проведение рубок леса, сбор дикорастущих ягод, грибов, лекарственных растений) в целях предотвращения получения лесной продукции с содержанием ^{137}Cs , превышающим республиканские допустимые уровни.

Для принятия решений о проведении работ, соблюдения регламентации лесохозяйственных мероприятий, лесопользования в зонах радиоактивного загрязнения используется оперативная информация о показателях радиационной обстановки на участках лесного фонда. Контроль радиоактивного загрязнения лесного фонда, лесной продукции осуществляется отраслевой службой радиационного контроля в соответствии с Правилами контроля радиоактивного загрязнения в системе Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь.

Радиационная обстановка на территории лесного фонда уточняется ежегодно в ходе радиационного обследования земель лесного фонда, лесосек, радиационного контроля древесины по породам и категориям технической годности, дикорастущих ягод, грибов. Полномасштабное радиационное обследование земель лесного фонда Минлесхоза на общей площади 5174,4 тыс. га проведено в 1991–1992 гг. Наиболее загрязненные территории, отнесенные к зоне отчуждения и отселения, были обследованы специалистами Полесского государственного экологического заповедника, созданного в 1988 г., в том числе на землях лесного фонда (60,7 тыс. га). По результатам обследования установлены уровни и площади радиоактивного загрязнения земель лесного фонда в 50 из 88 лесхозов Минлесхоза на площади 17,198 тыс. км², или 25,6 % от общей площади лесов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является территория лесного фонда Министерства лесного хозяйства, подвергшаяся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, а также заготавливаемая лесная продукция. Площадь радиоактивного загрязнения лесного фонда Минлесхоза на 01.01.2026 составляет 1188,8 тыс. га (13,7 % от общей площади) со следующим распределением по зонам: I зона – плотность загрязнения почв цезием-137 от 1 до 5 Ки/км² – 833,0 тыс. га или 70,07 %, II (5–15 Ки/км²) – 279,6 тыс. га (23,52 %), III (15–40 Ки/км²) – 76,0 тыс. га (6,39 %), IV (40 Ки/км² и более) – 0,16 тыс. га (2 лесных квартала).

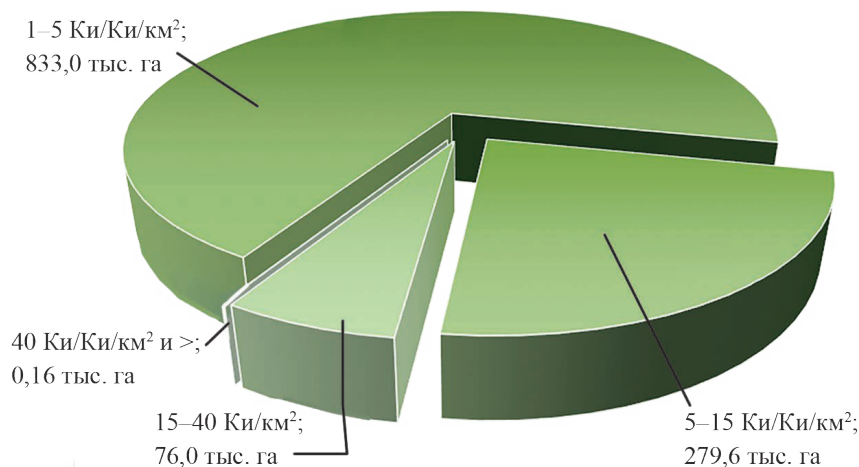


Рис. 1. Площадь лесного фонда Минлесхоза в зонах радиоактивного загрязнения (тыс. га) на 01.01.2026 г.

Fig. 1. Area of forest fund a Ministry of Forestry in areas of radioactive contamination (thousand hectares) on 01.01.2026

В течение 2025 г. радиационный контроль проведен 18,0 тыс. проб заготавливаемой и реализуемой лесной продукции, в первую очередь древесины и изделий из нее (76,1 %), а также пищевой продукции леса – березового сока, грибов, ягод, меда, установлено соответствие требованиям гигиенических нормативов: РДУ/ЛХ-2001, РДУ-99, «Критерии оценки радиационного воздействия» (Референтные уровни)¹. Оценка соответствия реализуемых партий лесной продукции, пищевых продуктов, производится путем сравнения суммы измеренного значения содержания радионуклидов и величин оцененной неопределенности или погрешности результата измерения с допустимыми (референтными) уровнями.

Радиационное обследование земель лесного фонда, лесосек, радиационный контроль лесной продукции осуществляется в соответствии с техническими нормативными правовыми актами, методиками выполнения измерений на радиометрические приборы аккредитованными (аттестованными) подразделениями отраслевой службы радиационного контроля^{2, 3, 4}.

¹РДУ/ЛХ-2001. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства, введены в РБ 11.01.2001 г., г. Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2021.

²ТКП 239-2010 (02080). Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения: технический кодекс установившейся практики, введен РБ 22.02.2010. Минск: Государственное учреждение радиационного контроля и радиационной безопасности «Беллесрад», 2010.

³ТКП 240-2010 (02080). Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения, технический кодекс установившейся практики, введен РБ 22.02.2010. Минск: Государственное учреждение радиационного контроля и радиационной безопасности «Беллесрад», 2010.

⁴ТКП 251-2010 (02080). Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения: технический кодекс установившейся практики, введен РБ 28.06.2010 г., г. Минск: Государственное учреждение радиационного контроля и радиационной безопасности «Беллесрад», 2010.

Результаты исследования и их обсуждение

Уточнение радиационной обстановки на территории лесного фонда Минлесхоза проводится ежегодно на площади от 50,0 до 100,0 тыс. га, обследуется до 800 лесных кварталов. По результатам радиационного обследования устанавливают уменьшение площади лесов в зонах радиоактивного загрязнения, обусловленное уменьшением плотности загрязнения почв ^{137}Cs в результате радиоактивного распада, перераспределением радионуклида по компонентам лесных экосистем.

В 2025 г. по результатам радиационного обследования земель лесного фонда, проведенного на общей площади 50,1 тыс. га (629 лесных кварталов в 139 лесничествах 37 лесхозов), установлено уменьшение площади лесов в зонах радиоактивного загрязнения на 16,9 тыс. га (1,5 %). С учетом принятых в состав лесного фонда земель (3,1 тыс. га) площадь лесов в зонах радиоактивного загрязнения по сравнению с 2024 г. уменьшилась на 13,8 тыс. га (1,15 %), за последние 5 лет – на 48,1 тыс. га и 10 лет – на 187,1 тыс. га.

В течение послеаварийного периода в состав лесного фонда передавались земли из других ведомств, в том числе бывшего сельскохозяйственного назначения, загрязненные радионуклидами. Наибольшие площади были переданы в 2000 г., что привело к увеличению территории радиоактивного загрязнения лесов после завершения их радиационного обследования в 2005 г. В дальнейшем передача загрязненных земель из других ведомств в столь значительных объемах не проводилась, в период с 2015 по 2025 г. общая площадь принятых лесов составила 36,2 тыс. га. С 2005 по 2025 г. территория в зонах загрязнения уменьшилась на 601,3 тыс. га (1,7 % в год) (рис. 2).

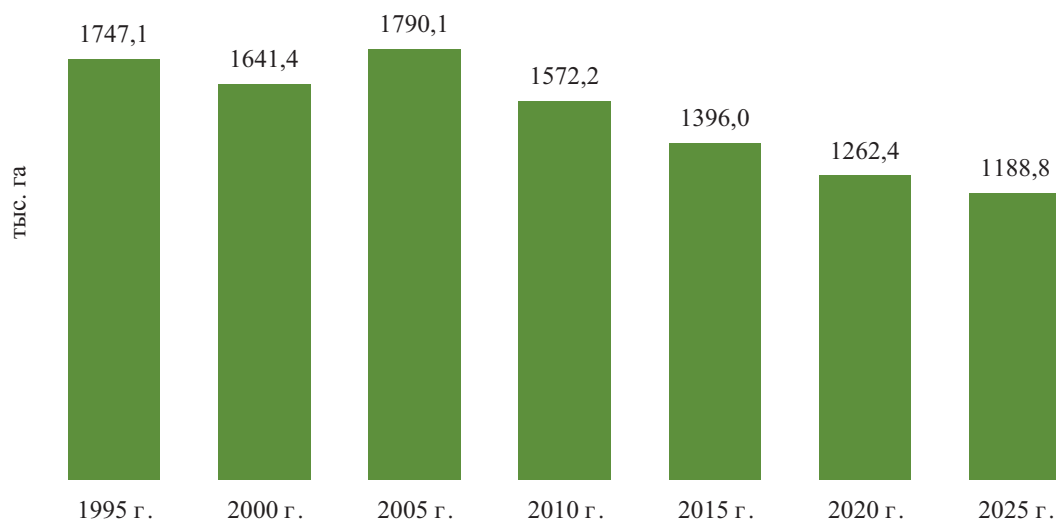


Рис. 2. Площадь радиоактивного загрязнения лесного фонда Минлесхоза, 1995–2025 гг.

Fig. 2. The area of radioactive contamination in the forest fund of the Ministry of Forestry, 1995–2025

Со временем уменьшаются площади каждой зоны радиоактивного загрязнения, происходит переход лесных кварталов из зоны с большей плотностью загрязнения в зону с меньшей. С 2021 по 2025 г. площадь лесов в III зоне (15–40 Ки/км²) уменьшилась на 14,5 тыс. га или на 16,0 %, во II (5–15 Ки/км²) на 15,7 тыс. га (5,3%), в I (1–5 Ки/км²) – на 17,7 тыс. га или 2,1 %. II зона является буферной между I и III, изменяется незначительно за счет перехода сравнимых по площади и количеству обследованных лесных кварталов из III зоны во II и из II зоны в I. К 2036 г. прогнозируется уменьшение площади радиоактивного загрязнения лесов до 954,5 тыс. га, к 2046 г. – 804,6 тыс. га (рис. 3).

В организациях Минлесхоза реализован системный подход к радиационному обследованию земель, максимально используются результаты предыдущих обследований, возможности прогнозирования уровней загрязнения почв ^{137}Cs и показатели радиационной обстановки на прилегающей территории [1]. Это позволяет ежегодно устанавливать уменьшение площади радиоактивного загрязнения лесного фонда, эффективность радиационного обследования – подтверждение прогнозируемого перехода лесного квартала в зону с меньшей плотностью составляет ~70 %.

По мере снижения плотности загрязнения почв ^{137}Cs уменьшается мощность дозы гамма-излучения (далее – МД) до 2,0 % в год [2]. На значительной части (96 %) территории радиоактивного загрязнения при проведении лесохозяйственных работ обеспечено соблюдение норм радиационной безопасности, не превышение предела среднегодовой эффективной дозы облучения в 1 миллиЗиверт (мЗв).

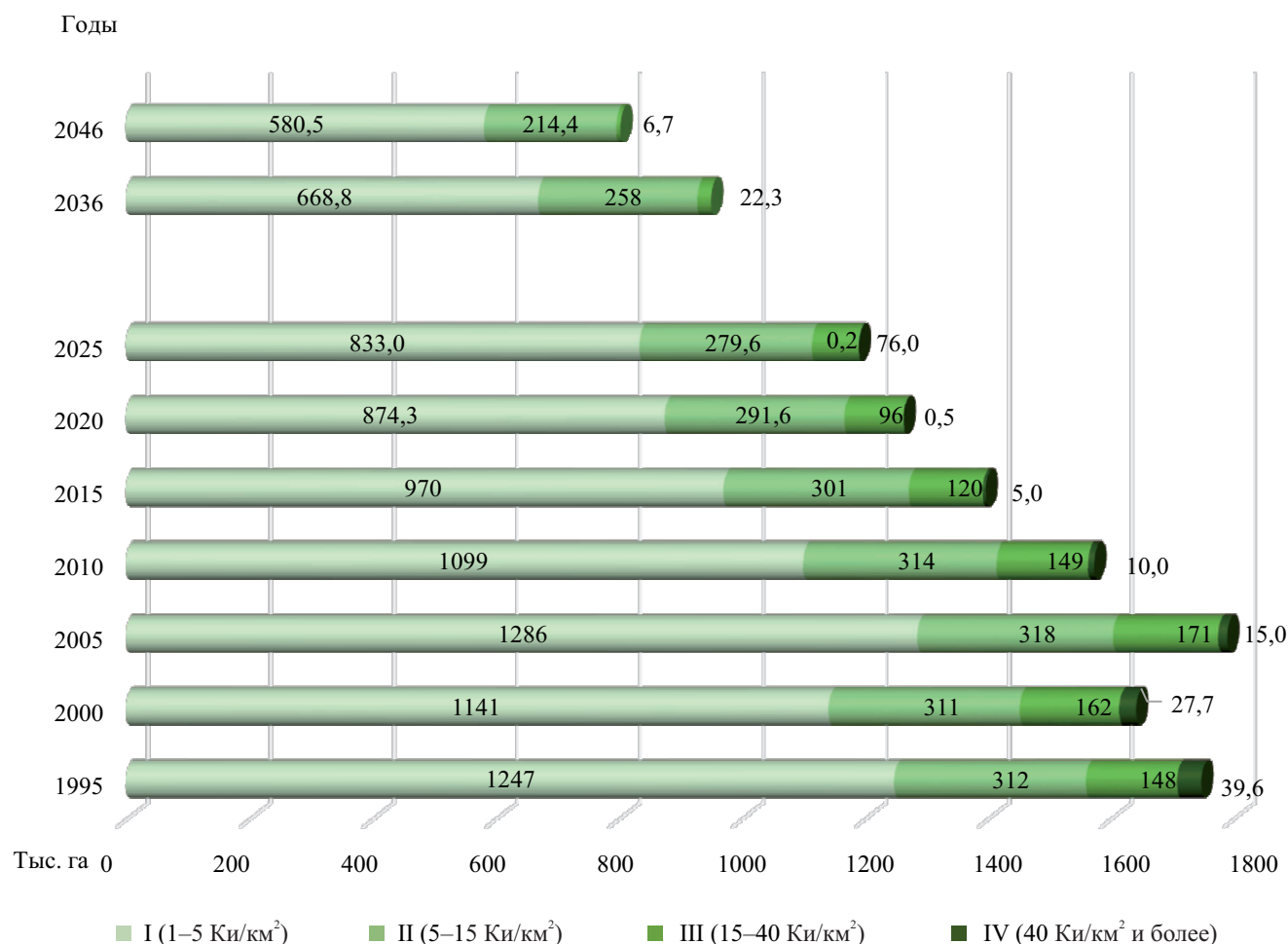


Рис. 3. Изменение площади лесного фонда в зонах радиоактивного загрязнения. Минлесхоз, 2005–2025 г. Прогноз на 2036, 2046 г.

Fig. 3. Change in the area of the forest fund within zones of radioactive contamination. Ministry of Forestry, 2005–2025. Forecast for 2036, 2046

По результатам радиационного обследования, в лесных кварталах с плотностью загрязнения менее 20 Ки/км² мощность дозы (средняя в лесном квартале) не превышает 0,68 мкЗв/час – значение, больше которого необходимо контролировать дозы внешнего облучения путем учета продолжительности работ. Площадь наиболее загрязненных ^{137}Cs участков лесного фонда в III зоне с плотностью загрязнения более 20 Ки/км² за последние 5 лет уменьшилась с 55,43 до 48,78 тыс. га. Ограничения в осуществлении лесохозяйственных мероприятий, лесопользования в связи с потенциальной возможностью превышения среднегодового предела дозы облучения существуют на территориях, составляющих 0,56 % от общей площади лесов Минлесхоза.

Радиационный контроль лесной продукции – древесины (деловой древесины и дров), грибов, ягод, березового сока, меда, а также мяса диких охотничьих животных осуществляется на территориях радиоактивного загрязнения лесного фонда с целью подтверждения соответствия содержания радионуклида ^{137}Cs допустимым (референтным) уровням. Радиационный контроль древесины по породам и категориям технической годности проводится в ходе радиационного обследования лесосек на стадии заготовки и реализации. Методы радиационного обследования лесосек основаны на закономерностях загрязнения древесных растений радионуклидами, установленных в ходе научных исследований, практических работ, и обеспечивают достаточность данных для принятия решений о проведении рубок леса [3].

По результатам радиационного контроля лесной продукции ежегодно устанавливают превышение допустимых уровней содержания радионуклида цезия-137 в деловой древесине до 2,0 %, пищевой продукции леса до 40 %.

В течение периода наблюдений наибольшая доля проб с превышением отмечается в грибах, дикорастущих ягодах, лекарственном сырье (рис. 4).

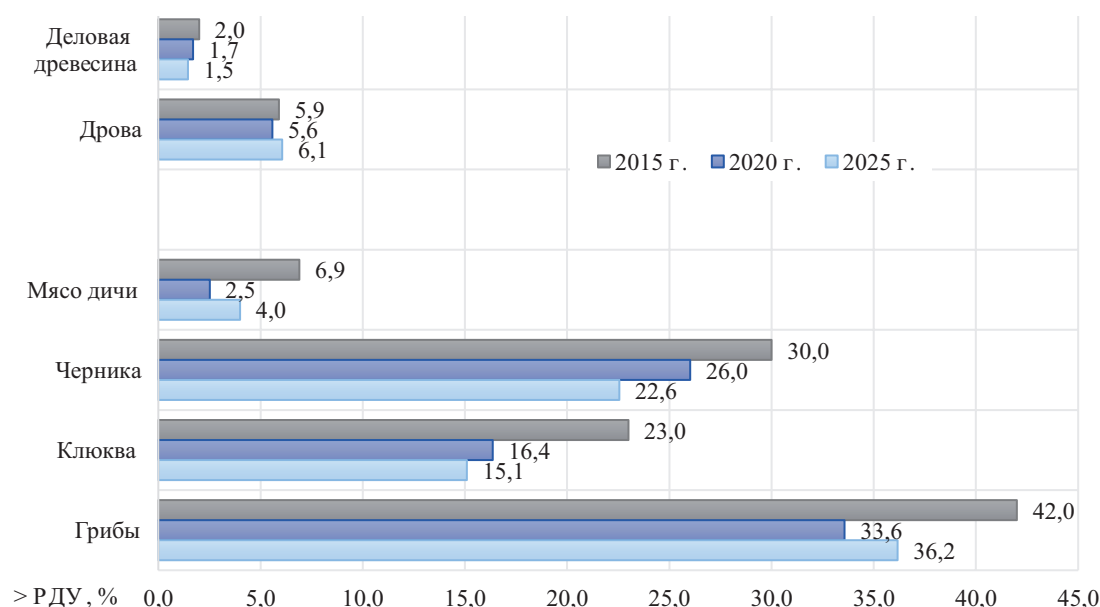


Рис. 4. Лесная продукция с превышением допустимых уровней содержания цезия-137. 2015, 2020, 2025 г.

Fig. 4. Forest products exceeding permissible levels of cesium-137 content. 2015, 2020, 2025

Основная часть (87 % в 2025 г.) древесины с превышением норматива 740 Бк/кг – это древесина дровяной категории на территориях лесного фонда с плотностью загрязнения более 5 Ки/км². Со временем уменьшаются количество контролируемых проб с превышением допустимых уровней (1020 проб в 2020 г. и 560 – в 2025 г.), содержание ¹³⁷Cs в древесине. Уменьшение поступления ¹³⁷Cs в растительность объясняется его стабильным и связанным состоянием в почве, уменьшением растворимости и, как следствие, доступности (менее 3–4 %) в питательной цепочке «почва – растение».

К настоящему времени на загрязненных территориях лесного фонда Минского, Гродненского регионов содержание ¹³⁷Cs в древесине не превышает 100 Бк/кг при средних значениях удельной активности менее 40 Бк/кг. В лесхозах Гомельского государственного производственного лесохозяйственного объединения (ГПЛХО) древесина с содержанием ¹³⁷Cs менее 300 Бк/кг составляет 55,9 % от всех измеренных в 2025 г., Могилевского – 89,6, Брестского – 93,4 % (рис. 5).

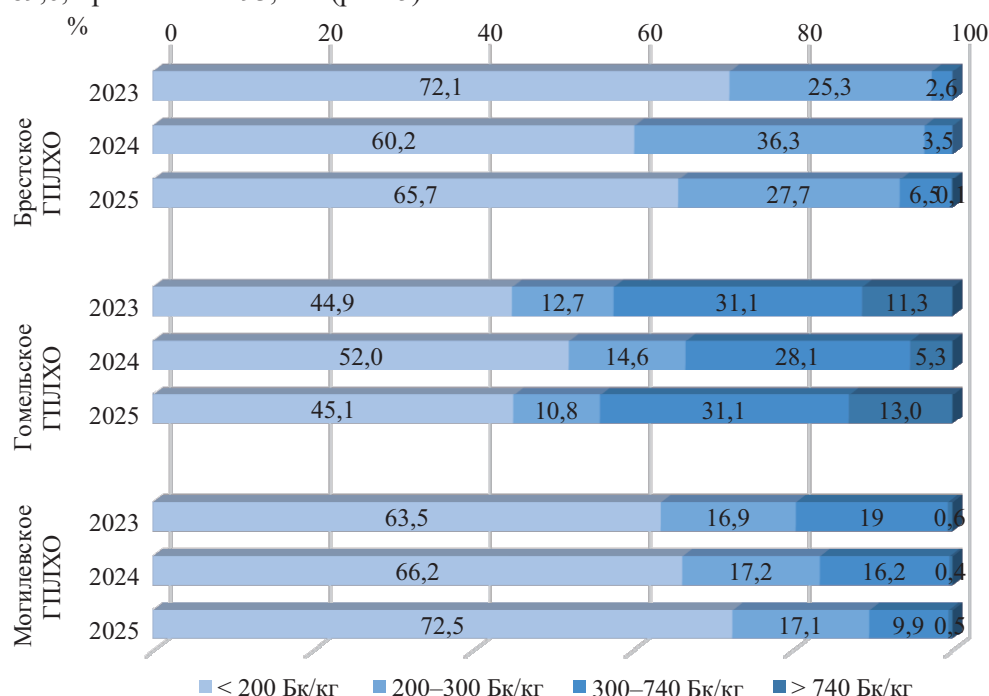
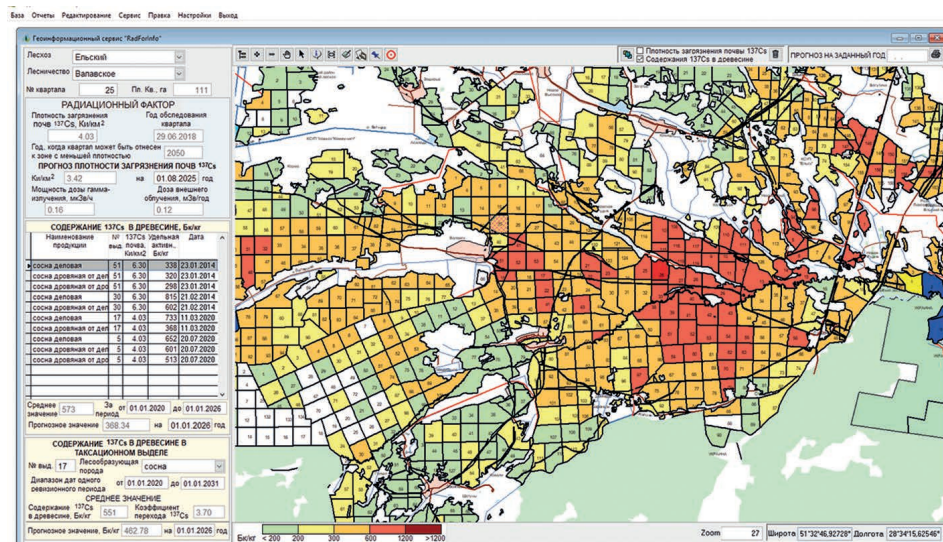


Рис. 5. Древесина. Доля проб с различным содержанием ¹³⁷Cs

Fig. 5. Timber. Share of samples with different ¹³⁷Cs content

На территориях радиоактивного загрязнения с достаточной достоверностью известны уровни содержания ^{137}Cs в древесине деловой и дровах, их соответствие допустимым (референтным) уровням. Получение информации о содержании ^{137}Cs в древесине на территории лесного фонда лесничества в текущем периоде и в прогнозе на заданную дату, в том числе с визуализацией на карте, обеспечивается применением функций информационной системы «Радиоактивное загрязнение лесов “RadFor”» (рис. 6).

 a/a 

6/b

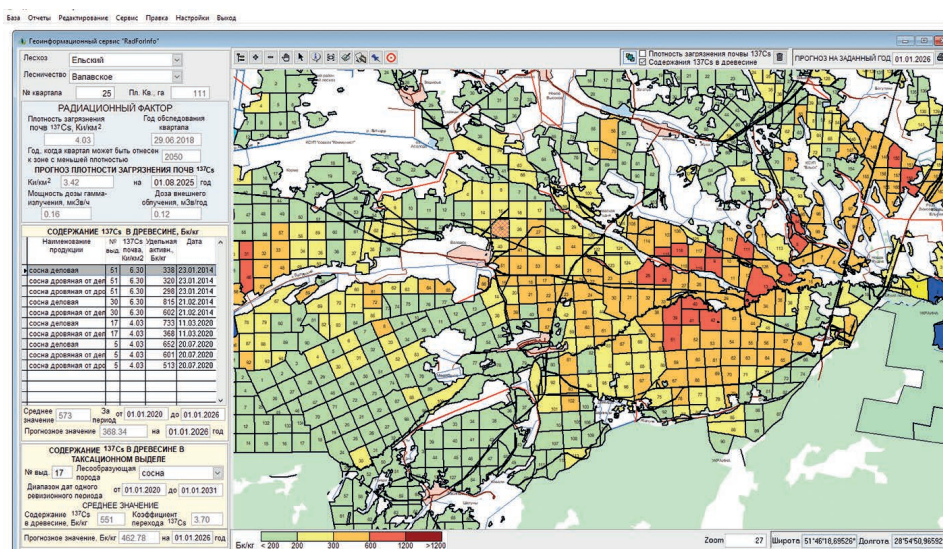


Рис. 6. Изменение уровней содержания ^{137}Cs в древесине:
а) в пределах лесного квартала на дату обследования; б) прогноз на 01.01.2026

Fig. 6. Change in ^{137}Cs content levels in timber: a) within a forest quarter as of the survey date; b) forecast for 01.01.2026

Уменьшение плотности загрязнения и площади загрязненных радионуклидами лесов, а также накопленный объем информации – адресные данные (в пределах лесного квартала, таксационного выдела) об уровнях содержания ^{137}Cs в древесине и возможности их обработки, в том числе получение прогнозов, обеспечили оптимизацию методов радиационного обследования лесосек. С 2021 по 2025 г. объем радиационного контроля древесины уменьшился на 40,5 %, в первую очередь, за счет уменьшения радиационного обследования лесосек на территориях в I зоне (1–5 Ки/км²).

В продукции побочного лесопользования наибольшая доля проб с превышением допустимых (референтных) уровней содержания ^{137}Cs сохраняется в дикорастущих ягодах и грибах. По прошествии почти 40 лет после чернобыльской аварии в этих видах лесной продукции превышение отмечается более чем у 20,0 % собранных ягод и 35,0 % грибов (рис. 7). Различия статистически достоверны при уровне значимости $p < 0,05$ (или 5 %).

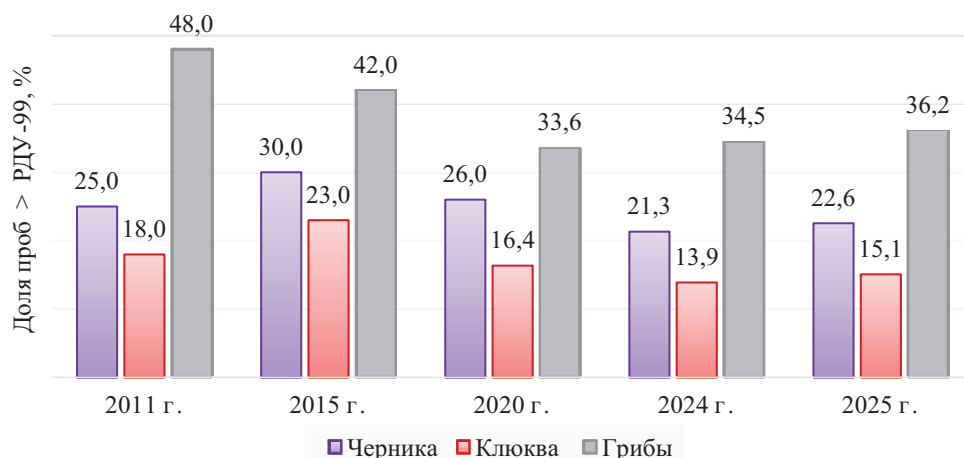


Рис. 7. Превышение допустимых уровней содержания ^{137}Cs в грибах, дикорастущих ягодах. 2011–2025 гг.

Fig. 7. Exceedance of permissible levels of ^{137}Cs content in mushrooms and wild berries. 2011–2025

Законодательно сбор (заготовка) ягод и грибов разрешен на территориях с плотностью загрязнения до 5 Ки/км^2 . Правилами ведения лесного хозяйства введены ограничения – до 2 Ки/км^2 и определен перечень грибов с наименьшей интенсивностью перехода ^{137}Cs из почвы в плодовые тела, рекомендованных к сбору на загрязненных территориях, что позволяет минимизировать возможность сбора продукции, превышающей допустимое содержание ^{137}Cs в ягодах и грибах.

Для получения более полной информации о содержании ^{137}Cs в дикорастущих ягодах и грибах, изменениях уровней загрязнения со временем был организован их ежегодный сбор на участках лесного фонда (таксационных выделах лесных кварталов) с плотностью загрязнения менее 5 Ки/км^2 . Для контрольных полигонов подобраны участки леса с грибными местами, ягодниками, наиболее посещаемые людьми, для изучения долговременного загрязнения пищевой продукции леса радионуклидами. Результаты радиационного контроля показывают постепенное уменьшение интенсивности поступления ^{137}Cs в дикорастущие ягоды и плодовые тела грибов группы слабо- и средненакапливающих радионуклиды (рис. 8, 9). Различия статистически достоверны при уровне значимости $p < 0,05$ (или 5 %).

Сравнение уровней содержания ^{137}Cs в грибах и ягодах разных групп в диапазонах плотности загрязнения в пределах I зоны ($1\text{--}5 \text{ Ки/км}^2$) однозначно подтверждает обоснованность запрета на сбор сильнонакапливающих цезий грибов и ягод при плотности более 2 Ки/км^2 . В одном диапазоне плотности загрязнения содержание ^{137}Cs у группы сильнонакапливающих в несколько раз больше, чем у слабо- и средненакапливающих радионуклиды грибов и ягод.

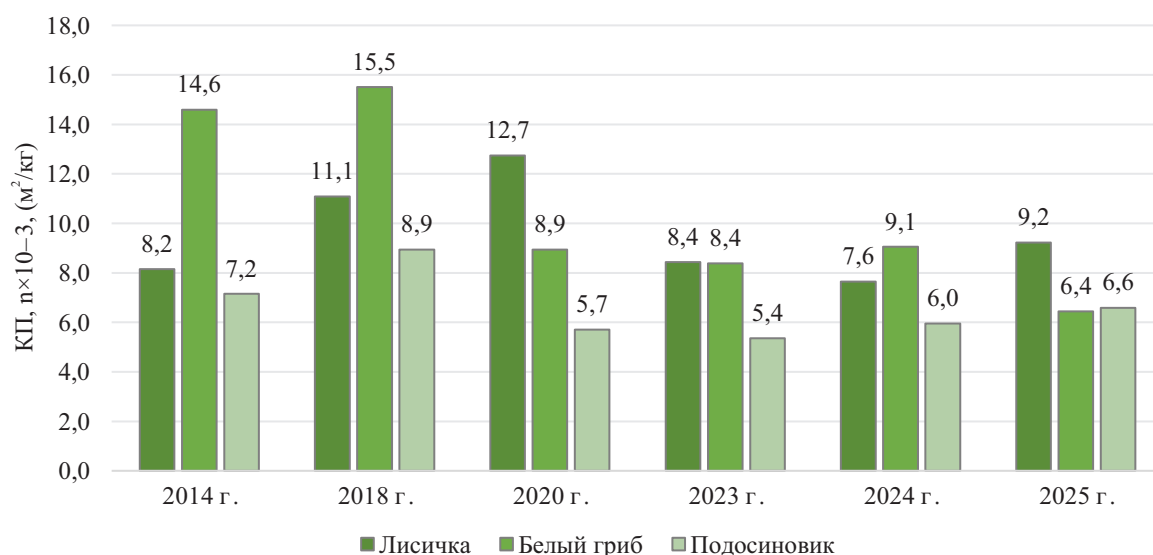


Рис. 8. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в грибы средненакапливающие. Контрольные полигоны, 2014–2025 гг.

Fig. 8. Transfer coefficients of ^{137}Cs to moderately accumulating mushrooms. Control plots, 2014–2025

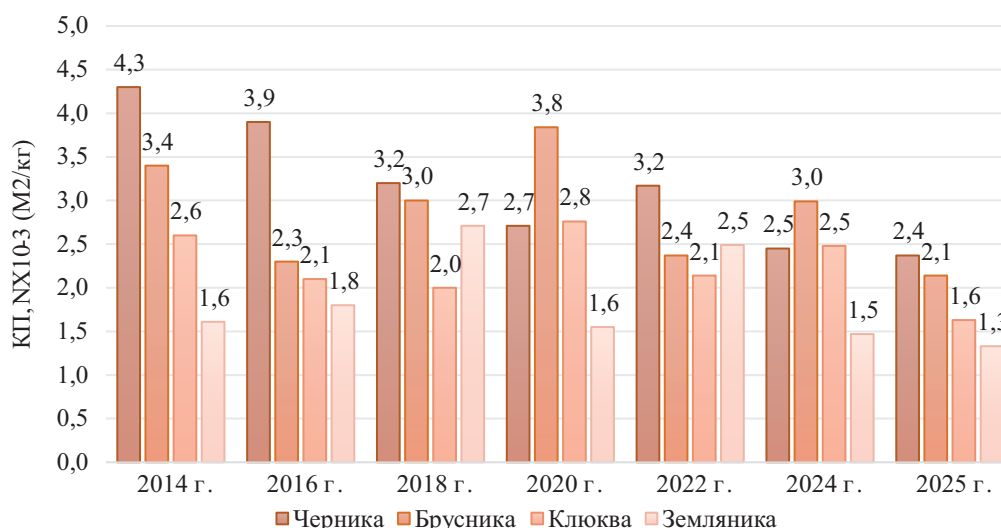


Рис. 9. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в ягоды. Контрольные полигоны, 2014–2025 гг.

Fig. 9. Transfer coefficients of ^{137}Cs to berries. Control plots, 2014–2025

Заключение

Проведены обобщение и анализ результатов контроля радиоактивного загрязнения лесного фонда Министерства лесного хозяйства. В настоящее время радиационная обстановка на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, характеризуется стабильным уменьшением показателей: плотности загрязнения, мощности дозы, содержания ^{137}Cs в лесной продукции. Площадь лесов в зонах радиоактивного загрязнения уменьшилась за последние 5 лет на 48,1 тыс. га (0,78 % в год), – за 10 лет на 187,1 тыс. га (1,36 % в год). Наибольшая часть (70,07 %) территорий радиоактивного загрязнения отнесена к I зоне с плотностью загрязнения почв ^{137}Cs от 1 до 5 Ки/км², ограничения при ведении лесного хозяйства на участках с плотностью более 20 Ки/км² сохраняются на площади 48,78 тыс. га или 0,6 % от общей площади лесов Минлесхоза. Контроль радиоактивного загрязнения лесного фонда, лесной продукции осуществляется на системной основе, обеспечено хранение результатов контроля в систематизированном виде, их обработка, получение выходных отчетных документов, прогнозов изменения радиоактивного загрязнения. По результатам анализа радиационного контроля лесной продукции, уровней содержания ^{137}Cs в древесине и их соответствия допустимым (референтным) уровням в течение последних пяти лет установлено, что доля древесины с содержанием ^{137}Cs , превышающим 740 Бк/кг составляет 6–7 % и установлена на территории 10–11 лесхозов, 1480 Бк/кг – 1,5–2,0 % в 4–6 лесхозах. На большей части территории (от 60 до 90 % в ГПЛХО) содержание ^{137}Cs не превышает 300 Бк/кг.

Результаты контроля радиоактивного загрязнения лесного фонда могут быть использованы для разработки предложений по внесению изменений в систему принятия решений при ведении лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения в части расширения лесопользования, лесохозяйственной деятельности, снятия ограничений в связи с возможностью соблюдения норм и правил по обеспечению радиационной безопасности.

Библиографические ссылки

1. Карбанович ЛН. Время берет свое. Об изменении радиационной обстановки. *Лесное и охотничье хозяйство*. 2025;(4):24–29.
2. Карбанович ЛН. О радиационной обстановке в лесах. Результаты контроля радиоактивного загрязнения лесного фонда, лесной продукции. *Лесное и охотничье хозяйство*. 2023;(8):22–27.
3. Переволоцкий АН. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: РНИУП «Институт радиологии»; 2006. с. 118–162.

References

1. Karbanovitch LN. *Vremya берет свое. Ob izmenenii radiatsionnoi obstanovki* [Time Marches On: On Changes in the Radiation Situation]. *Forestry and Hunting*. 2025;(4):24–29. Russian.
2. Karbanovitch LN. *O radiatsionnoi obstanovke v lesakh. Rezul'taty kontrolya radioaktivnogo zagryazneniya lesnogo fonda, lesnoi produktsii* [On the Radiation Situation in Forests: Results of Monitoring Radioactive Contamination of Forest Land and Forest Products]. *Forestry and Hunting*. 2023;(8):22–27. Russian.
3. Perevolotsky AN. *Raspredelenie ^{137}Cs i ^{90}Sr v lesnykh biogeotsenozakh* [Distribution of ^{137}C and ^{90}Sr in Forest Biogeocenoses]. Gomel: RRUE «Institute of Radiology»; 2006. p. 118–162. Russian.

Статья поступила в редакцию 02.12.2026.
Received by editorial board 02.12.2026.

УДК 546.56:546.815:546.36*137:582.29:574.3:614.876:621.039

СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В ЛИШАЙНИКАХ ЗОНЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СРОЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

В. С. АВЕРИН¹⁾, А. Г. ЦУРИКОВ^{1), 2)}, А. В. МИХАЙЛОВ³⁾

¹⁾Гомельский государственный медицинский университет,
ул. Ланге, 5, 246000, г. Гомель, Беларусь

²⁾Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, 246028, г. Гомель, Беларусь

³⁾Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Киевское шоссе, 109 км, 249032, г. Обнинск, Калужская область, Россия

Лишайники играют важную роль в мониторинге и оценке состояния окружающей среды при анализе воздействия промышленных выбросов. Они проявляют чувствительность к целому ряду поллютантов и отражают качество воздуха, а также изменение климатических факторов. Лишайники позволяют отслеживать динамику накопления загрязняющих веществ, поэтому являются наиболее чувствительными биоиндикаторами загрязнения воздуха на региональном уровне. В рамках организации системы биомониторинга содержания неорганических поллютантов в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС на основе лишеноиндикации было определено содержания трития в слоевищах эпифитного лишайника *Xanthoria parietina*. Отбор проб слоевищ проводили в пределах 16 точечных реперных площадок, заложенных нами для осуществления долгосрочного экологического мониторинга состояния окружающей среды с учетом особенностей встречаемости и биомассы лишайника *Xanthoria parietina*, в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС. Содержание трития в них анализировались на спектрометре «Tri-Carb 4810». Проведенные исследования содержания трития в слоевищах эпифитных лишайников *Xanthoria parietina*, отобранных в зоне воздействия атомной станции, показали, что удельная активность данного радионуклида во всех пробах находится ниже предела обнаружения применявшегося метода жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии (20 Бк/кг сухой массы) и только в одной пробе лишайников обнаружены следовые количества трития – 22 Бк/кг. Полученные данные свидетельствуют о том, что поступление трития в атмосферный воздух в районе исследований отсутствует, либо находится на уровне ниже предела обнаружения современными аналитическими методами. Объемная активность трития в приземном слое воздуха в период наблюдений не превышала фоновых значений, характерных для территорий, не подверженных влиянию объектов ядерного топливного цикла. Вклад эмиссий Белорусской АЭС в загрязнение атмосферного воздуха тритием является пренебрежимо малым и не оказывает значимого влияния на радиоэкологическую обстановку региона. Рекомендуется продолжение мониторинговых исследований с применением методов обогащения проб для детектирования сверхнизких концентраций трития в объектах окружающей среды.

Ключевые слова: радиобиология; радиоэкология; экологический мониторинг; лишеноиндикация; атомная энергетика.

Образец цитирования:

Аверин ВС, Цуриков АГ, Михайлов АВ. Содержание трития в лишайниках зоны планирования срочных защитных мероприятий Белорусской АЭС. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;1:55–61. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-55-61>

For citation:

Averin VS, Tsurykau AG, Mikhailov AV. Tritium content in lichens in the emergency protective action planning zone of the Belarusian nuclear power plant. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;1:55–61. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-55-61>

Авторы:

Виктор Сергеевич Аверин – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры экологической и профилактической медицины.

Андрей Геннадьевич Цуриков – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры общей и биоорганической химии¹⁾; профессор кафедры биологии²⁾.

Андрей Вячеславович Михайлов – младший научный сотрудник.

Authors:

Viktar S. Averyn, doctor of science (biology), professor; professor at the department of environmental and preventive medicine.

averinvs@mail.ru

Andrei G. Tsurykau, doctor of science (biology), professor; professor at the department of general and bioorganic chemistry^a; professor at the department of biology^b.

tsurykau@gmail.com

Andrey V. Mikhailov, junior researcher .
andry.mikhailov.2025@yandex.ru

Благодарность. Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма «Радиация и биологические системы», задание «Природные ресурсы и окружающая среда», НИР «Разработка методов биомониторинга содержания неорганических загрязнителей в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС на основе лишеноиндикации».

TRITIUM CONTENT IN LICHENS IN THE EMERGENCY PROTECTIVE ACTION PLANNING ZONE OF THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

V. S. AVERIN^a, A. G. TSURYKAU^{a, b}, A. V. MIKHAILOV^c

^aGomel State medical University,
5 Lange Street, Gomel 246000, Belarus

^bFrancisk Skorina Gomel State University,
104 Saveckaja Street, Gomel 246028, Belarus

^cAll-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology of the National Research Center «Kurchatov Institute»,
Kievskoye Highway, 109 km, Obninsk 249032, Kaluga region, Russia
Corresponding author: V. S. Averin (averinvs@mail.ru)

Lichens play a crucial role in environmental monitoring and assess the impact of industrial emissions. They are sensitive to a wide range of pollutants and reflect air quality and climate change. Lichens allow us to track the dynamics of pollutant accumulation, making them the most sensitive bioindicators of air pollution at the regional level. As part of the biomonitoring system for inorganic pollutants in the emergency protective planning zone of the Belarusian Nuclear Power Plant, tritium levels in the thalli of the corticolous lichen *Xanthoria parietina* were determined. Thalli sampling was conducted within 16 sample plots established for long-term environmental monitoring, taking into account the occurrence and biomass of *Xanthoria parietina* in the emergency protective planning zone of the Belarusian Nuclear Power Plant. Tritium content in these samples was analyzed using a Tri-Carb 4810 spectrometer. Studies of tritium content in *Xanthoria parietina* thalli collected within the emergency protective planning zone of the Belarusian NPP revealed that the specific activity of this radionuclide in all samples was below the detection limit of the liquid scintillation spectrometry method used (20 Bq/kg dry weight). Trace amounts of tritium – 22 Bq/kg – were detected in the single lichen sample. The data obtained indicate that tritium emissions into the atmospheric air in the study area are either absent or below the detection limit of current analytical methods. Tritium activity in the ground-level air during the observation period did not exceed background levels typical for areas not affected by nuclear fuel cycle facilities. The contribution of emissions from the Belarusian NPP to tritium pollution of the atmospheric air is negligible and does not significantly affect the radioecological situation in the region. Continued monitoring studies using sample enrichment methods to detect ultra-low tritium concentrations in environmental samples are recommended.

Keywords: radiobiology; radioecology; environmental monitoring; lichen indication; nuclear energy.

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the State Program for Scientific Research «Natural Resources and the Environment», subprogram «Radiation and Biological Systems», task «Natural Resources and the Environment», research project «Development of methods for biomonitoring inorganic pollutant levels in the emergency protective action planning zone of the Belarusian NPP impacted area based on lichen indication».

Введение

Источником техногенной ионизирующей радиации являются предприятия атомной энергетики, работа которых нередко вызывает дискуссии среди населения, живущего вблизи атомных электростанций [1]. При нормальной работе ядерных установок выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду малы. Каждый реактор выбрасывает в окружающую среду довольно разнообразный набор радионуклидов как с жидкостями (^3H , ^{14}C , ^{24}Na , ^{32}P , ^{53}Cr , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{59}Fe , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , ^{110}Ag , ^{124}Sb , ^{131}I , ^{133}I , ^{135}I , ^{133}Xe , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{182}Ta), так и с газами (^3H , ^{13}N , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{131}I , ^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{138}Xe , ^{138}Cs) [1; 2]. Следует отметить, что период полураспада некоторых из этих веществ составляет минуты или секунды, в то время как других – десятки или сотни лет. Величина радиоактивных выбросов варьирует в широких пределах и зависит не только от типа и конструкции реактора, но может даже различаться в пределах одного и того же реактора в разные годы. Кроме того, расстояние до атомного реактора напрямую влияет на уровень облучения местной биоты, в том числе и человека [2].

Тритий – радиоактивный изотоп водорода, имеющий в ядре один протон и два нейтрона. Он, как и обычный водород, легко вступает в химические реакции в зависимости от физико-химических условий, подвержен β -превращению, а максимальная энергия β -частиц, испускаемых тритием, равна $18,61 \pm 0,02$ кэВ.

Период его полураспада составляет 12,32 лет [3]. Общее количество трития в биосфере составляет $1,3 \times 10^{15}$ Бк, он участвует в круговороте воды, средняя концентрация изотопа в тканях живых организмов составляет 0,4 Бк/кг [4; 5]. Радиобиологический интерес к тритию обусловлен, во-первых, высоким содержанием этого радиоизотопа в биосфере как следствия совместного действия природных и техногенных источников, во-вторых, исключительно высокой скоростью его включения в биологические процессы, и в-третьих, потенциальной радиационной опасностью трития для природы и человека [1; 4].

В связи с вышеизложенным, актуальной задачей является организация экологического мониторинга территорий, прилегающих к радиационно опасным объектам. Лишайники играют важную роль в контроле и оценке состояния окружающей среды при анализе воздействия промышленных выбросов. Они проявляют чувствительность к целому ряду поллютантов и отражают качество воздуха, а также изменение климатических факторов. Лишайники позволяют отслеживать динамику накопления загрязняющих веществ, поэтому являются наиболее чувствительными биоиндикаторами загрязнения воздуха на региональном уровне [6–8].

Тритий, участвующий в круговороте воды в биосфере, может поступать в клетки бионтов лишайников как непосредственно в форме воды, так и через фотосинтез (часто вместе с ^{14}C) [9], после чего становится частью их тел, проникая в важнейшие клеточные структуры [1]. Это обуславливает перспективность использования лишайников для мониторинга за выбросами трития в среду, поскольку в их талломах наблюдали неожиданно высокую активность окисления трития [10–12]. Вместе с тем отмечается, что в рамках методов лишеноиндикации и лишеномониторинга из широкого перечня радионуклидов проводится измерение не более 30 изотопов (наиболее часто – ^{137}Cs и ^{90}Sr), причем сведения об активности ^3H в лишайниках единичны [1]. В связи с этим представляется актуальным провести оценку содержания трития в лишайниках зоны планирования срочных защитных мероприятий Белорусской АЭС.

Материалы и методы исследования

Согласно [13], радиоэкологическая обстановка на прилегающей к Белорусской АЭС территории характеризуется следующими показателями: плотность загрязнения почвы ^{137}Cs составляет менее 2 кБк/м², ^{90}Sr – менее 1 кБк/м². По этим параметрам район сопоставим с остальной территорией республики, загрязненной только глобальными выпадениями от испытаний ядерного оружия (с плотность загрязнения по ^{137}Cs менее 2,6 кБк/м² и по ^{90}Sr менее 1,8 кБк/м²) [14; 15]. Мощность эквивалентной дозы в воздухе составляет менее 0,15 мкЗв/ч и полностью определяется естественным радиационным фоном. Содержание ^{137}Cs в продукции сельского хозяйства в настоящее время не превышает значения минимально детектируемой активности (менее 3 Бк/кг). Удельная активность ^{90}Sr в продукции сельскохозяйственного производства не превышает 1 Бк/кг, что в десятки раз ниже по сравнению с действующими нормативами [13].

В целом, по величинам содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах агроэкосистем исследуемая территория не отличается от сопредельных районов, загрязненных только глобальными выпадениями в результате испытаний ядерного оружия.

Отбор образцов лишайников *Xanthoria parietina* осуществляли 29 и 30 октября 2022 г. в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС.

Для осуществления долгосрочного экологического мониторинга состояния окружающей среды в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС с учетом особенностей встречаемости и биомассы лишайника *Xanthoria parietina* нами было заложено 16 точечных реперных площадок для отбора проб лишайников (табл. 1) [16; 17].

Отбор проб слоевищ лишайников *Xanthoria parietina* для изучения содержания трития проводили по всей окружности ствола на высоте 1–2 м. Слоевища укладывали в бумажные конверты и сушили до воздушно-сухого состояния.

Для подготовки проб при определении концентрации органически связанного трития была выбрана методика автоклавного разложения [18]. Навеску образца массой 3,0 г помещали в автоклав объемом 300 мл и добавляли в него 11 мл 70%-ной HNO_3 , после чего автоклав немедленно закрывали. Закрытый автоклав помещали в сушильный шкаф, где выдерживали в течение 2 ч при температуре 150 °С.

После обработки в автоклаве сосуд охлаждали до комнатной температуры и затем вскрывали. Как правило, полученный раствор представлял собой раствор желтоватого цвета. В автоклавах присутствовало достаточно большое количество неразложившегося осадка темно-коричневого цвета, явно минерального состава (минеральная составляющая почв). Полученная суспензия объемом 7–10 мл количественно переносилась в колбу на 50–100 мл, после чего нейтрализовывалась добавлением Na_2CO_3 . Нейтрализацию проводили до прекращения выделения газа; общее количество Na_2CO_3 составляло от 1,2 до 1,6 для каждой пробы. Полученный раствор подвергался очистке путем перегонки с использованием прямого холодильника Либиха. В полученном дистилляте объемом 6,5–8 мл определяли содержание трития

методом жидкосцинтилляционной спектрометрии. Средний выход трития, определенный методом «введено – найдено», при использовании описанной методики составил 70 ± 5 %. Для контроля содержания трития в воздухе рабочей зоны во время вскрытия автоклавов, нейтрализации растворов и их перегонки отбирались пробы воздушной влаги.

Таблица 1

Расположение точечных реперных площадок

Table 1

Location of point sample plots

Площадка	Локалитет	Расстояние и направление от БелАЭС	Координаты
1	Агродорожок Герваты	7,5 км на юг	54°41'15.9"N, 26°08'51.2"E
2	Агродорожок Ворняны	5,5 км на юго-запад	54°43'27.2"N, 26°00'47.8"E
3	Поселок Гоза	3,5 км на северо-запад	54°46'35.2"N, 26°01'49.8"E
4	Поселок Швейляны	4,1 км на восток	54°44'39.9"N, 26°09'55.5"E
5	Лесной массив, 500 м на северо-запад от д. Попишки	3 км на юг	54°43'16.3"N, 26°06'31.4"E
6	Насаждения в д. Мацки	8 км на юг	54°40'05.8"N, 26°06'52.6"E
7	Лесной массив 1 км на юго-восток от д. Ольгиняны	12 км на юг	54°37'45.5"N, 26°05'49.3"E
8	Лесной массив	3 км на запад	54°45'12.0"N, 26°02'34.1"E
9	Лесной массив 1 км на юго-запад от д. Ворона	8 км на запад	54°44'54.1"N, 25°56'38.1"E
10	Лесополоса 0,3 км на юг от д. Тро-кеники	12 км на запад	54°44'47.4"N, 25°53'51.9"E
11	Лесной массив 0,6 на юг от д. Меш-ляны	3 км на север	54°47'25.5"N, 26°05'45.8"E
12	Насаждения в д. Заборцы	9 км на север	54°49'03.6"N, 26°06'49.9"E
13	Насаждения 1 км на север от д. Подольцы	12 км на север	54°52'44.9"N, 26°04'35.7"E
14	Лесной массив 1 км на восток от д. Валайкуны	3 км на восток	54°45'38.2"N, 26°09'10.0"E
15	Лесной массив 0,1 км на юг от д. Кирели	9 км на восток	54°44'53.9"N, 26°13'17.2"E
16	Насаждения в д. Шимонели	12 км на восток	54°46'11.9"N, 26°19'21.1"E

Объемная активность трития в подготовленных пробах и пробах водяных паров воздуха рабочих зон определялась методом жидкосцинтилляционной спектрометрии. Из проб и жидкосцинтилляционного коктейля (ЖСК) «ЛИРА-1» готовились аналитические образцы (5 мл пробы к 15 мл ЖСК). После приготовления они тщательно взбалтывались и отстаивались в темном месте в течение суток, после чего содержание трития в них анализировались на спектрометре «Tri-Carb 4810» (время измерения – 3 ч; предел обнаружения: 20 Бк/кг сухой массы). Для учета фонового сигнала использовались холостые аналитические образцы с дистиллированной водой и, поскольку метод относительный, стандарт для анализа концентрации трития в пробах с известной активностью трития – 2700 Бк/л). Мерой неопределенности при представлении полученных данных обозначена погрешность единичного определения активности трития.

Результаты анализа концентрации трития в водяных парах воздуха рабочих зон во время работы с пробами представлены в табл. 2.

Таблица 2

Объемная активность трития в водяных парах воздуха рабочих зон во время работы с пробами

Table 2

Volumetric activity of tritium in air water vapor within the working areas during work with samples

Рабочее помещение	Активность водяных паров воздуха, Бк/л
Зона перегонки (1)	<7
Зона вскрытия автоклавов (1)	<7
Зона создания аналитических образцов (1)	<7
Зона перегонки (2)	<7
Зона вскрытия автоклавов (2)	<7
Зона создания аналитических образцов (2)	<7
Зона перегонки (3)	<7
Зона вскрытия автоклавов (3)	<7
Зона создания аналитических образцов (3)	<7

Таким образом, активность трития в пробах водяных паров воздуха ниже предела обнаружения методики. Это свидетельствует о том, что привноса дополнительного загрязнения в анализируемые пробы не было.

Статистическая обработка результатов проводилась стандартными методами в программном пакете *Microsoft Excel 365*.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты изучения свидетельствуют, что только в одной пробе лишайников, отобранных в зоне планирования срочных защитных мероприятий Белорусской АЭС, обнаружены следовые количества трития – 22 Бк/кг (табл. 3). Единичный факт обнаружения несколько повышенной концентрации трития по сравнению с фоновым уровнем требует необходимости дополнительного исследования для подтверждения или опровержения наличия локального источника трития.

Таблица 3

Удельная активность трития в лишайнике *Xanthoria parietina*
в зоне воздействия Белорусской АЭС, Бк/кг возд.-сух. массы

Table 3

Specific activity of tritium in the lichen *Xanthoria parietina* in the emergency protective planning zone of the Belarusian Nuclear Power Plant, Bq/kg air-dry mass

Проба	Направление от БелАЭС / локалитет	Удельная активность трития, Бк/кг
1	3 км на юг	< 20
2	8 км на юг	< 20
3	12 км на юг	< 20
4	3 км на запад	< 20
5	8 км на запад	< 20
6	12 км на запад	< 20
7	3 км на север	< 20
8	9 км на север	< 20
9	12 км на север	< 20
10	3 км на восток	< 20

Ending table 3

Проба	Направление от БелАЭС / локалитет	Удельная активность трития, Бк/кг
11	9 км на восток	< 20
12	12 км на восток	< 20
13	А. г. Ворняны	< 20
14	Д. Гоза	< 20
15	А. г. Гервяты	22 ± 20
16	Д. Швейляны	< 20

Поскольку лишайники являются интегральными индикаторами атмосферных выпадений и способны накапливать радионуклиды из воздуха на протяжении длительного времени, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Отсутствие детектируемых количеств трития в лишайниках свидетельствует о том, что поступление этого радионуклида в атмосферный воздух в районе исследований либо отсутствует, либо находится на уровне ниже предела обнаружения современными аналитическими методами.
2. С учетом известных коэффициентов накопления трития лишайниками из атмосферной влаги, объемная активность трития в приземном слое воздуха в период наблюдений не превышала фоновых значений, характерных для территорий, не подверженных влиянию объектов ядерного топливного цикла.
3. Вклад эмиссий атомной станции в загрязнение атмосферного воздуха тритием является пренебрежимо малым и не оказывает значимого влияния на радиоэкологическую обстановку региона.

Заключение

Проведенные исследования содержания трития в слоевищах эпифитных лишайников *Xanthoria parietina*, отобранных в зоне воздействия атомной станции, свидетельствует, что удельная активность данного радионуклида во всех пробах находится ниже предела обнаружения применявшегося метода жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии (20 Бк/кг сухой массы).

Таким образом, результаты биоиндикационных исследований с использованием лишайников подтверждают штатный режим работы атомной станции и отсутствие неучтенных газоаэрозольных выбросов трития в атмосферу либо непревышение их уровня предела обнаружения выбранного метода. Рекомендуются продолжение мониторинговых исследований с применением методов обогащения проб для детектирования сверхнизких концентраций трития в объектах окружающей среды.

Библиографические ссылки

1. Бязров ЛГ. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. Москва: Издательство КМК; 2005. 476 с.
2. Радиация. Дозы, эффекты, риск [перевод с английского ЮА Банникова]. Москва: Мир; 1990. 77 с.
3. Скибинская АН, Герменчук МГ. Источники трития в Республике Беларусь. В: Батян АН, главный редактор. Сахаровские чтения – 2025: экологические проблемы XXI века. Материалы 25-й Международной научной конференции. Часть 1. Минск: БГУ; 2025. с. 144–147.
4. Романов ГН. Поведение в окружающей среде и биологической действие трития. Итоги науки и техники: Радиационная биология: Проблемы радиоэкологии. 1983;4:6–31.
5. Кузин АМ. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. Москва: Наука; 1991. 117 с.
6. Бязров ЛГ. Лишайники в экологическом мониторинге. Москва: Научный мир; 2002. 336 с.
7. Цуриков АГ. Лишайники юго-востока Беларуси. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины; 2013. 276 с.
8. Thakur M, Bhatt A, Sharma V, Mathur V. Interplay of heavy metal accumulation, physiological responses, and microbiome dynamics in lichens: insights and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024;196:926.
9. Daillant O, Kirchner G, Pigrée G, Porstendörfer J. Lichens as indicators of tritium and radiocarbon contamination. *Science of The Total Environment*. 2004;323(1–3):253–262.
10. Ichimasa M, Ichimasa Y, Azuma Y, Komuro M, Fujita K, Akita Y. Oxidation of tritium gas by lichen and moss. *Journal of Radiation Research*. 1988;29(1):60.
11. Ichimasa M, Ichimasa Y, Yagi Y, Ko R, Suzuki M, Akita Y. Oxidation of atmospheric molecular tritium in plant leaves, lichens and mosses. *Journal of Radiation Research*. 1989;30(4):323–329.
12. Ichimasa M, Suzuki M, Obayashi H, Sakuma Y, Ichimasa Y. In vitro determination of oxidation of atmospheric tritium gas in vegetation and soil in Ibaraki and Gifu, Japan. *Journal of Radiation Research*. 1999;40(3):243–251.
13. Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь. Книга 11. Оценка воздействия на окружающую среду. 1588-ПЗ-ОИ4. Часть 8. Отчет об ОВОС. Часть 8.2. Текущее состояние окружающей среды. Пояснительная записка (редакция 06.07.2010 г.). Минск: Белнипиэнергопром; 2010. 183 с.

14. Герменчук МГ, Цыбулько НН, Шалькевич ПК, Дашкевич ТВ. Динамика состава радиационной обстановки и ранжирование радиоэкологических рисков в Республике Беларусь. *Вестник Брестского государственного технического университета*. 2024;2(134):136–145.
15. Edomskaia MA, Lukashenko SN, Stupakova GA, Kharkin PV, Gluchshenko VN, Korovin SV. Estimation of radionuclides global fallout levels in the soils of CIS and eastern Europe territory. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2022;247:106865.
16. Цуриков АГ, Аверин ВС. Выбор точечных реперных площадок в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС с целью лишеноиндикации. В: Чешик ИА, главный редактор. *Радиобиология и экологическая безопасность – 2022. Материалы международной научной конференции*. Минск: ИВЦ Минфина; 2022. с. 168–170.
17. Цуриков АГ, Аверин ВС. Обоснование выбора и закладка стационарных площадок для осуществления долгосрочного экологического мониторинга территории воздействия Белорусской АЭС на основе лишеноиндикации. В: Лебедев НА, главный редактор. *Экологические аспекты устойчивого развития Белорусского Полесья и сопредельных территорий. Сборник материалов международной научно-практической конференции*. Гомель; ГГУ им. Ф. Скорины; 2025. с. 26–27.
18. Lukashenko SN, Kurbakov DN, Tomson AV, Edomskaia MA, Mikhailov AV. Development of methodology for identification and assessment of ecosystems with an underground source of tritium. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2024;274:107399.

References

1. Biazrov LG. *Lishajniki – indikatory radioaktivnogo zagryazneniya* [Lichens – indicators of atmospheric pollution]. Moscow: MKK; 2005. 476 p. Russian.
2. Radiaciya. Dozy, efekty, risk [Radiation. Doses, Effects, Risk]. [Bannikov YuA, translation]. Moscow: Mir; 1988. 77 p. Russian.
3. Skibinskaya AN, Germenchuk MG. *Istochniki tritiya v Respublike Belarus* [Sources of Tritium in the Republic of Belarus] In: Batyan AN, editor. *Saharovskie chteniya – 2025: ekologicheskie problemy XXI veka. Materialy 25-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Chast I*. Minsk: BGU; 2025. p. 144–147. Russian.
4. Romanov GN. Environmental Behavior and Biological Effects of Tritium. *Itogi nauki i tekhniki: Radiacionnaya biologiya: Problemy radioekologii* [Results of Science and Technology: Radiation Biology: Problems of Radioecology] 1983;4:6–31. Russian.
5. Kuzin AM. *Prirodnyj radioaktivnyj fon i ego znachenie dlya biosfery Zemli* [Natural Radioactive Background and Its Significance for the Earth's Biosphere]. Moscow: Nauka; 1991. 117 p. Russian.
6. Biazrov LG. *Lishajniki v ekologicheskom monitoringe* [Lichens in environmental monitoring]. Moscow: Nauchny mir; 2002. 336 p. Russian.
7. Tsurukau AG. *Lishajniki yugo-vostoka Belarusi* [Lichens of the southeast of Belarus]. Gomel: GSU im. F. Skorina; 2013. 276 p. Russian.
8. Thakur M, Bhatt A, Sharma V, Mathur V. Interplay of heavy metal accumulation, physiological responses, and microbiome dynamics in lichens: insights and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024;196:926.
9. Daillant O, Kirchner G, Pigrée G, Porstendörfer J. Lichens as indicators of tritium and radiocarbon contamination. *Science of The Total Environment*. 2004;323(1–3):253–262.
10. Ichimasa M, Ichimasa Y, Azuma Y, Komuro M, Fujita K, Akita Y. Oxidation of tritium gas by lichen and moss. *Journal of Radiation Research*. 1988;29(1):60.
11. Ichimasa M, Ichimasa Y, Yagi Y, Ko R, Suzuki M, Akita Y. Oxidation of atmospheric molecular tritium in plant leaves, lichens and mosses. *Journal of Radiation Research*. 1989;30(4):323–329.
12. Ichimasa M, Suzuki M, Obayashi H, Sakuma Y, Ichimasa Y. In vitro determination of oxidation of atmospheric tritium gas in vegetation and soil in Ibaraki and Gifu, Japan. *Journal of Radiation Research*. 1999;40(3):243–251.
13. *Obosnovanie investirovaniya v stroitel'stvo atomnoi elektrostantsii v Respublike Belarus* [Justification of Investment in the Construction of a Nuclear Power Plant in the Republic of Belarus]. Book 11. Environmental Impact Assessment. 1588-PZ-OI4. Part 8. EIA Report. Part 8.2. Current State of the Environment. Explanatory Note (as amended on 06.07.2010). Minsk: Belnapienergoprom, 2010. 183 p. Russian.
14. Germenchuk MG, Tsybulka MM, Shalkevich PK, Dashkevich TV. Dynamics of the composition of radiation situation and ranking of radioecological risks in the territory of the Republic of Belarus. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Brest State Technical University]. 2024;2(134):136–145. Russian.
15. Edomskaia MA, Lukashenko SN, Stupakova GA, Kharkin PV, Gluchshenko VN, Korovin SV. Estimation of radionuclides global fallout levels in the soils of CIS and eastern Europe territory. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2022;247:106865.
16. Tsurukau AG, Averyn VS. *Vybor tochechnykh repornykh ploshchadok v zone planirovaniya srochnykh zashchitnykh meropriyatij territorii vozdeystviya Belorusskoj AES s cel'yu lihenoindikacii* [Selecting of reference sample plots in the zone of planning urgent protective measures of the territory of impact of the Belarusian NPP for the lichen indication]. In: Chesnyk IA, editor. *Radiobiologiya i ekologicheskaya bezopasnost' – 2022. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*. Minsk: IVC Minfina; 2022. p. 168–170. Russian.
17. Tsurukau AG, Averyn VS. *Obosnovanie vybora i zakladka stacionarnykh ploshchadok dlya osushchestvleniya dolgosrochnogo ekologicheskogo monitoringa territorii vozdeystviya Belorusskoj AES na osnove lihenoindikacii* [Justification for the selection and establishment of sample plots for long-term environmental monitoring of the territory of impact of the Belarusian NPP based on lichen indication]. In: Lebedev NA, editor. *Ekologicheskie aspekty ustojchivogo razvitiya Belorusskogo Poles'ya i sopredel'nykh territorij. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Gomel; GSU im. F. Skoriny; 2025. p. 26–27. Russian.
18. Lukashenko SN, Kurbakov DN, Tomson AV, Edomskaia MA, Mikhailov AV. Development of methodology for identification and assessment of ecosystems with an underground source of tritium. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2024;274:107399.

Статья поступила в редколлегию 02.03.2026.
Received by editorial board 02.03.2026.

УДК 539*163.1:528.936.013

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ И РЕШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЗОНЫ ЭВАКУАЦИИ (ОТЧУЖДЕНИЯ) И ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА В ПОСТЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПЕРИОД

М. В. КУДИН¹⁾, А. С. КАЗАКОВ¹⁾, Д. Е. ПАВЛОВ²⁾

¹⁾Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,
ул. Терешковой, 7, 247618, г. Хойники, Беларусь

²⁾Департамент по ядерной и радиационной безопасности
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,
ул. Берсона, 16, 220030, г. Минск, Беларусь

Становление территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника неразрывно связано с принятием решения об организации зоны эвакуации (отчуждения) на основе уточненной радиационной обстановки, определяемой мощностью экспозиционной дозы и плотностью радиоактивного загрязнения долгоживущими радионуклидами чернобыльского происхождения. В исследовании обобщен национальный правовой опыт выделения и организации специализированных мероприятий по содержанию и управлению территорией, наиболее пострадавшей в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Выделены этапы, охватывающие постчернобыльский период, становления территории на основе требований локальных нормативно-правовых актов. Приведена хронология принятия государственных управленческих решений, учитывающих специфические требования содержания территории.

Ключевые слова: зона эвакуации (отчуждения); радиоактивное загрязнение; Концепция; Полесский государственный радиационно-экологический заповедник.

Благодарность. Выражаем признательность в подготовке материала публикации кандидату технических наук Г. В. Анцыпову, деятельность которого в должности начальника отдела реабилитации загрязненных территорий Комчернобыля, Департамента МЧС определила становление и функционирование национальной системы мер по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, а также П. М. Кудану, возглавлявшему Полесский государственный радиационно-экологический заповедник в 2005–2017 гг.

Образец цитирования:

Кудин МВ, Казаков АС, Павлов ДЕ. Национальные подходы и решения организации зоны эвакуации (отчуждения) и Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в постчернобыльский период. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2026;1:62–78.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-62-78>

For citation:

Kudzin MV, Kazakov AS, Pavlov DE. National approaches and solutions to the organization of the evacuation zone (exclusion) and the Polesie state radiation-ecological reserve in the post-chernobyl period. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2026;1:62–78. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-62-78>

Авторы:

Максим Владимирович Кудин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заместитель директора по научной работе.
Алексей Сергеевич Казаков – заведующий отделом информационного обеспечения.
Дмитрий Евгеньевич Павлов – заместитель начальника Департамента по ядерной и радиационной безопасности.

Authors:

Maksim V. Kudzin, PhD (agriculture), docent; deputy director for scientific work.
max.kudin@mail.ru
Aleksey S. Kazakov, head of the department of information support.
aliaksei.kazakou@yandex.ru
Dmitry E. Pavlov, deputy head of the department of nuclear and radiation safety.
pavlov@gosatomnadzor.gov.by

NATIONAL APPROACHES AND SOLUTIONS TO THE ORGANIZATION OF THE EVACUATION ZONE (EXCLUSION) AND THE POLESIE STATE RADIATION-ECOLOGICAL RESERVE IN THE POST-CHERNOBYL PERIOD

M. V. KUDZIN^a, A. S. KAZAKOV^a, D. E. PAVLOV^b

^a*Polesie State Radiation and Ecological Reserve,
7 Tserashkovaj Street, Khoyniki 247618, Belarus*

^b*Department for nuclear and radiation safety of the Ministry for Emergency situations of the Republic of Belarus,
16 Bersana Street, Minsk 220030, Belarus*

Corresponding author: M. V. Kudzin (max.kudin@mail.ru)

The development of the Polesie State Radiation and Ecological Reserve is inextricably linked to the decision to establish an evacuation (exclusion) zone based on the updated radiation situation, determined by the exposure dose rate and the density of radioactive contamination from long-lived radionuclides of Chernobyl origin. This paper summarizes national legal experience in identifying and organizing specialized measures for the maintenance and management of the area most affected by the Chernobyl Nuclear Power Plant disaster. The stages of the post-Chernobyl period in the development of the area are identified based on the requirements of local regulations. A chronology of state management decisions is provided, taking into account the specific requirements for maintaining the area.

Keywords: evacuation zone (exclusion zone); radioactive contamination; concept; Polesie state radiation and ecological reserve.

Aknowledgements. We would like to express special gratitude for the preparation of this publication to PhD (engineering) G. V. Antsyrov, whose work as Head of the Contaminated Areas Rehabilitation Department of the Chernobyl Committee of the Ministry of Emergency Situations determined the development and functioning of the national system of measures to overcome the consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant disaster, and to P. M. Kudan, who headed the Polesie State Radiation and Ecological Reserve from 2005 to 2017.

Введение

Сразу же после катастрофы на Чернобыльской АЭС на государственном уровне возникла необходимость решения сложных, комплексных научных и организационно-прикладных задач определения ее масштабов, контроля радиационной обстановки, эвакуации населения, оценки ущерба сельскому и лесному хозяйствам и окружающей среде в целом.

В работе обобщен национальный опыт организации и внедрения в практику специализированных мероприятий по выделению границ, содержанию и управлению территорией, наиболее пострадавшей в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Актуальность проведенных исследований обоснована необходимостью обобщения подходов и действий, нашедших отражение в локальных правовых актах, сформированных только для территории зоны эвакуации (отчуждения), лежащих в основе принятия управленческих решений на долгосрочную перспективу.

Для понимания масштаба и комплекса мероприятий по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в рамках территории, которая наиболее сильно подверглась радиоактивному загрязнению широким спектром радионуклидов в первоначальный период, необходимо привести хронологию формирования ее границ и Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ).

В общем понимании территориальные определения 30-километровая зона или зона эвакуации (отчуждения) и ПГРЭЗ имеют различия, поскольку первое – определяет границу эвакуации населения по радиационному фактору, второе – территорию правового режима, направленного на выполнение комплекса специализированных мероприятий по минимизации выноса радионуклидов на сопредельные территории, в состав которой, помимо зоны эвакуации (отчуждения), входит территория относящаяся к зоне последующего отселения.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – территория зоны эвакуации (отчуждения) и Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Предмет исследования – национальный опыт формирования правового поля и практика применения специализированных мероприятий по содержанию и управлению территорией зоны эвакуации (отчуждения) и Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, а также этапы постчернобыльского периода становления территорий на основе требований локальных нормативно-правовых актов.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии со ст. 6 Закона Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС», № 1227-ХП от 12 ноября 1991 г., включая его последние редакции, зона эвакуации (отчуждения) определяется как «территория вокруг Чернобыльской АЭС, с которой в 1986 году в соответствии с существовавшими нормами радиационной безопасности было эвакуировано население (30-километровая зона и территория, с которой проведено дополнительное отселение в связи с плотностью загрязнения почв стронцием-90 выше 3 Ки/кв. км² и плутонием-238, 239, 240 – выше 0,1 Ки/кв. км)»¹. Зона эвакуации в 1986–1987 гг. именовалась «30-километровой зоной», а с 1988 по 1991 гг. – «зоной отселения»², а с принятием Закона – «зона эвакуации (отчуждения)».

Отчуждение территории 30-километровой зоны проводилось непосредственно после аварии на Чернобыльской АЭС в мае-июне 1986 г. Для установления границ зоны использовались показатели мощности экспозиционной дозы (МЭД) на 10 мая 1986 г., превышающие 5 мР/час с привязкой к населенным пунктам. Возрастание МЭД происходило в течение первой половины мая 1986 г. и к 10 числу были выделены три зоны по гамма-фону [1]. При установлении границ зоны отчуждения по МЭД не учитывался качественный состав смеси радионуклидов (наличие коротко- и среднеживущих радионуклидов: рутения-106, церия-144 и т. д.).

В результате детального обследования запаса радионуклидов в почве зоны отчуждения в последующем проведено зонирование территории по плотности загрязнения с выделением 6 зон. В основу зонирования взята плотность загрязнения по трем основным изотопам: цезию-137, стронцию-90 и плутонию-239³.

Правительственной комиссией по расследованию причин аварии на Чернобыльской АЭС 2 мая 1986 г. было принято решение об эвакуации населения из 10-километровой и 30-километровой зон, прилегающих к Чернобыльской АЭС [2; 3]. Главной причиной принятия решения эвакуации населенных пунктов 30-километровой зоны явилась вероятность парового взрыва в случае проплавки железобетонных перекрытий вследствие неконтролируемого разогрева бывшей активной зоны реактора и возможного выброса 30 % радиоактивности, оставшейся в нем [3].

1 мая в Хойниках состоялось заседание штаба гражданской обороны Гомельской обл., на котором решался вопрос об эвакуации жителей ряда деревень. В этот же день до решения правительственной комиссии о проведении эвакуационных мероприятий суженным заседанием облисполкома было принято решение о проведении отселения детей в возрасте до 15 лет и беременных женщин из населенных пунктов Крюковского, Колыбанского сельсоветов Брагинского р-на, Радинского и Оревичского сельсоветов Хойникского р-на, Довлядовского сельсовета Наровлянского р-на. Всего 1 мая дети и беременные женщины были эвакуированы из 25 населенных пунктов трех районов.

В связи с осложнением радиационной обстановки 3 мая было принято решение об эвакуации всего населения из ряда населенных пунктов Хойникского и Брагинского р-нов. Для оперативного руководства мероприятиями по эвакуации облисполком, штаб гражданской обороны с оперативными группами служб были размещены в Хойниках.

4 мая суженным заседанием Гомельского облисполкома принимается решение об эвакуации жителей 50 населенных пунктов Брагинского, Хойникского и Наровлянского р-нов. На первом этапе эвакуация была проведена полностью из 30-километровой зоны вокруг станции. За каждым хозяйством были закреплены члены райкома КПБ, исполкома райсовета, руководители хозяйств, принимающие людей и скот. На маршрутах эвакуации оборудовались пункты специальной обработки техники. 5 мая начали вывозить скот. Всего было вывезено 12,6 тыс. человек.

Согласно решению суженного заседания Гомельского облисполкома от 30 мая 1986 г. со 2 по 9 июня из 28 населенных пунктов дополнительно было отселено 8,9 тыс. чел. и вывезено 37 тыс. голов скота. К 10 июня число эвакуированных достигло 18,7 тыс. чел. Эвакуация проводилась по 7 маршрутам. Безопасность движения и охрана обеспечивалась органами УВД с привлеченным личным составом 1125 чел. Для оказания помощи райисполкомам со стороны облисполкома и областных организаций были выделены оперативные группы общей численностью 41 чел.

¹ О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС: Закон Республики. Беларусь, 26 мая 2012 г., № 385-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. Минск, 2012. № 63. 2/1937.

² Об утверждении перечня территорий (населенных пунктов и других объектов), относящихся к зонам радиоактивного загрязнения: Постановление Кабинета Министров Республики Беларусь, 19 февраля 1996 г., № 116 // Собрание указов Президента и постановлений Кабинета Министров Республики Беларусь. 1996. № 6. С. 156.

³ Отчет по договору №11/92-93/3. Концепция зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь. Минск, 1993. 214 с.

3 июня было принято решение о вывозе материальных ценностей государственных и общественных организаций и имущества граждан. Для этого были созданы областная комиссия и две рабочие группы. Разработана и утверждена Инструкция по оценке и оплате строений, материальных ценностей и посевов.

С 27 августа по 30 сентября 1986 г. дополнительно проведена эвакуация населения из 29 населенных пунктов Брагинского, Наровлянского и Хойникского р-нов численностью 4,8 тыс. чел.

Всего на август 1986 г. из 107 населенных пунктов Гомельской области было эвакуировано 24,7 тыс. чел., из которых на территории области остались проживать 18116 чел. [4; 5].

На основании уточненных данных о радиоактивном загрязнении территории и дозах облучения решением заседания оперативной группы Политбюро ЦК КПСС по вопросам, связанным с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, 14 августа 1986 г. была фактически упразднена зона временного выселения, поскольку все населенные пункты этой зоны были переведены в зону отчуждения, а отселенные жители по мерам социальной защиты (возмещение материального ущерба, трудоустройство, обеспечение жильем и т. д.) приравнялись к населению, эвакуированному из зоны отчуждения) [1; 6].

Таким образом, начиная с первых дней после аварии, правительством Беларуси организовывались и проводились широкомасштабные мероприятия, направленные на оценку радиационной обстановки, обследование и защиту населения. Только с 5 по 9 декабря 1986 г. было принято 32 нормативных документа, направленных на указанные выше цели, в их числе решения об эвакуации населения, установлении допустимых уровней радиоактивного загрязнения помещений, транспортных средств, одежды, кожных покровов, предельных доз облучения населения, допустимых уровнях содержания радионуклидов в воде, продуктах [6]. Определены правовая основа, регулирующая решения руководящих органов по отнесению населенных пунктов к зоне эвакуации (отчуждения), включающая следующие нормативно-правовые акты [4]:

Распоряжение Совета Министров БССР от 28.05.1986 г. № 418 ре «О временном выселении граждан из населенных пунктов согласно перечню населенных пунктов, подлежащих временному выселению»;

Распоряжение Совета Министров БССР от 20 июня 1986 г. № 481 ре «Об установлении согласованной с Госкомгидрометом границы изымаемых из хозяйственного пользования участков, опасных по радиоактивному загрязнению (зоны отчуждения) во исполнение постановления ЦК КПБ и Совета Министров БССР от 11.06.1986 г. № 170-9». Приложение № 1 «Перечень населенных пунктов, находящихся в зоне отчуждения». Приложение № 2 «Перечень населенных пунктов, расположенных в 30-км зоне, население которых эвакуировано в связи с аварией на указанной станции 5 мая 1986 г.»;

Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 20 июня 1986 г. № 745-209 «О возмещении материального ущерба населению, эвакуированному из населенных пунктов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС». Приложение «Перечень населенных пунктов, эвакуированным жителям которых выплачивается компенсация за ущерб, причиненный их имуществу»;

Постановление Совета Министров БССР от 26 июня 1986 г. № 194-13 «О возмещении материального ущерба населению, эвакуированному из населенных пунктов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС»;

Постановление Совета Министров БССР от 27 августа 1986 г. № 266-17 «О дополнительных мерах по трудоустройству, обеспечению жильем и социально-бытовым обслуживанием населения, эвакуированного из населенных пунктов в связи с аварией на Чернобыльской АЭС, и возмещению ему материального ущерба». Приложение № 1 «Перечень населенных пунктов Гомельской области, население которых подлежит эвакуации в августе-сентябре 1986 г. Приложение № 2 «Перечень населенных пунктов, население которых эвакуировано ранее (зона с уровнем радиация 5–20 мР в час на 10.05.86);

Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 22 августа 1986 г. № 1005-285 «О дополнительных мерах по трудоустройству, обеспечению жильем и социально-бытовым обслуживанием населения, эвакуированного из населенных пунктов в связи с аварией на Чернобыльской АЭС, и возмещению ему материального ущерба». Приложение № 1 «Перечень населенных пунктов, население которых подлежит эвакуации в августе-сентябре 1986 г.». Приложение № 2 «Перечень населенных пунктов, население которых эвакуировано ранее (зона с уровнем радиации 5–20 мР в час на 10 мая 1986 г.);

Распоряжение Совета Министров БССР от 9 декабря 1986 г. № 943-рс «О реэвакуации населенных пунктов Александровка, Гдень, Голубовка, Иванки, Карловка, Катичев, Людвинов, Ляды, Новые Ляды, Осинник, Пасека, Скородное, Старые Ляды;

Распоряжение Совета Министров БССР от 18 сентября 1989 г. № 447 р «О реэвакуации населенных пунктов Соболи и Красная Гора Брагинского района Гомельской области».

Постановлением ЦК КПСС, Президиума ВС СССР, Совмина СССР, ВЦПС «Об условиях оплаты труда и материального обеспечения работников предприятий, организаций зоны Чернобыльской атомной электростанции»⁴ от 07 мая 1986 г. введено понятие «зоны Чернобыльской АЭС» без установления определенных ее границ и характеристик, обусловленное необходимостью организации мероприятий по ликвидации последствий аварии [6].

По мере осложнения радиационной обстановки вокруг ЧАЭС были выделены ближняя (10-километровая) и дальняя (30-километровая) зоны эвакуации, которые в последующем будут вынесены в натуру [1; 7; 8]. Территория белорусского сектора зоны отчуждения площадью 47 тыс. га, на которой были расположены 20 эвакуированных изначально населенных пунктов, вошли в состав ближней, 10-километровой зоны, границы которой были законодательно закреплены только в Украине. Вся оставшаяся территория площадью 147 тыс. га приходилась на дальнюю 30-километровую зону.

Формирование ее границ определялось радиационной обстановкой, а именно показателями МЭД, и не имело привязки к циркульному радиусу расстояния до эпицентра выброса радионуклидов. Постановлением ЦК КПСС, Совмина СССР от 29 мая 1986 г. «О проведении дезактивационных работ в районах Украинской ССР и Белорусской ССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в связи с аварией на Чернобыльской АЭС» определен состав и объем работ по ликвидации последствий аварии, выполняемых на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению с дифференциацией территории на зоны⁵. Исходя из величины МЭД, по состоянию на 10 мая были выделены три зоны по гамма-фону при оценке значения мощности дозы $1 \text{ мР} \times \text{ч}^{-1}$, которому соответствовала годовая доза внешнего облучения на критическую группу населения 11 мЗв [1; 6; 9], с закреплением данных критериев законодательно указанным выше постановлением:

– *зона отчуждения* (ближняя 10-километровая зона); мощность дозы $20 \text{ мР} \times \text{ч}^{-1}$ и более: территория площадью 470 км^2 , включая 20 населенных пунктов с населением 4,4 тыс. чел., с которой население эвакуировалось навсегда [1; 5; 9].

На основании постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 20 июня 1986 г. № 745-209 и Распоряжения Совета Министров БССР от 20 июня 1986 г. № 481ре от 20 июня 1986 г. была установлена зона отчуждения в виде перечня, включающего 29 населенных пунктов Украинской ССР и 20 населенных пунктов Белорусской ССР;

– *зона отселения* (дальняя 30-километровая зона, зона временного выселения [1; 6], зона временной эвакуации [5; 9]); мощность дозы $5\text{--}20 \text{ мР} \times \text{ч}^{-1}$, территория площадью 1024 км^2 , включая 87 населенных пунктов с населением 20,3 тыс. чел., на которую предполагалось вернуть жителей по мере нормализации радиационной обстановки.

В соответствии с критерием по МЭД были отселены в Украинской ССР с 10 по 31 мая, а также дополнительно с 10 по 16 июня 1986 г. 12 населенных пунктов, и в Белорусской ССР с 3 по 10 июня 1986 г. – 28 населенных пунктов, расположенных за пределами 30-километровой зоны вокруг ЧАЭС [6];

– *зона жесткого контроля*; мощность дозы $2\text{--}5 \text{ мР} \times \text{ч}^{-1}$, территория, включая 113 населенных пунктов с населением 58,3 тыс. чел., с которой проводился организованный вывоз детей и беременных женщин в не загрязненные радионуклидами районы на летний период 1986 г. [1; 5; 9] (до 1 сентября 1986 г.) [6]. Необходимо отметить, что для эвакуации населения за пределы своих районов была выделена также 50-километровая зона [10].

Таким образом, в декабре 1986 г. была выделена территория зон отчуждения и отселения суммарной площадью 194 тыс. га, включая 90,8 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе 36,1 тыс. га пашни, которая просуществует как территориальная единица до 1988 г. (рис. 1) [1; 4; 9].

Для обеспечения радиационной безопасности, охранного и противопожарного режимов было принято решение вынести в натуру границы 10-километровой и 30-километровой зон.

Комплекс мероприятий, включающий: установку 50 тыс. столбов с колючей проволокой по периметру 186 км, устройством полосы шириной 10 м, протяженностью 165 км с вырубкой лесонасаждений, отсыпкой полотна для проезда патрульных машин и установкой 1650 шт. предупреждающих знаков был реализован силами воинских частей гражданской обороны [1; 4; 5; 10]. Этапы становления границ территории приведены в таблице.

⁴Постановление ЦК КПСС, Президиума ВС СССР, Совмина СССР, ВЦПС от 07 мая 1986 г. № 524-156 «Об условиях оплаты труда и материального обеспечения работников предприятий, организаций зоны Чернобыльской атомной электростанции». ГАРФ. Фонд 5446, оп. 1, д. 994.

⁵Постановление ЦК КПСС, Совмина СССР от 29 мая 1986 г. № 634-188 «О проведении дезактивационных работ в районах Украинской ССР и Белорусской ССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в связи с аварией на Чернобыльской АЭС». ГАРФ. Фонд 5446, оп. 1, д. 994.

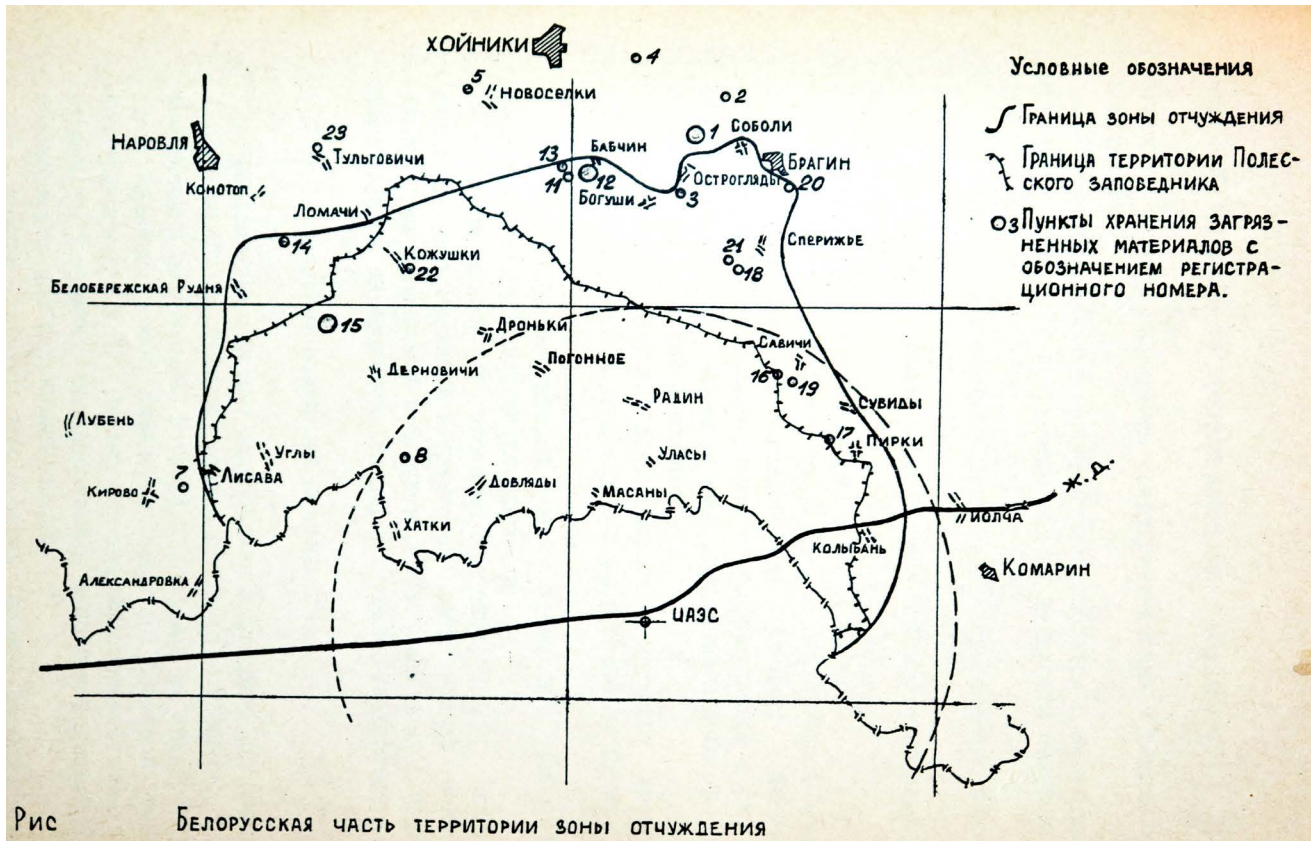


Рис. 1. Границы зоны отчуждения, ПГРЭЗ (условная 30-километровая зона) и 30-километровой зоны (циркулярная)⁶

Fig. 1. The boundaries of the exclusion zone, the 30-kilometer zone (allocated by dose rate) and the 30-kilometer zone (circular)⁶

В феврале 1988 г. на основании предложений Гомельского облисполкома часть территории зон отселения и отчуждения Брагинского, Наровлянского и Хойникского р-нов площадью 142,8 тыс. га отошла Полесскому государственному экологическому заповеднику, который был изначально организован на площади 131,3 тыс. га [11]. По истечении пяти лет, оставшиеся земли площадью 62,7 тыс. га, а также не перспективные земли площадью 21,4 тыс. га на основании решения Гомельского облисполкома вошли в состав ПГРЭЗ в марте 1993 г., сформировав современные границы ПГРЭЗ, включая территории Брагинского (33355 га), Хойникского (27700 га), Наровлянского (20859 га), Мозырского (1065 га) и Калинковичского (1091 га) р-нов общей площадью 84,1 тыс. га. В результате площадь ПГРЭЗ на конец 1993 г. составила 215,4 тыс. га, которая за счет уточнения территории при лесоустроительных работах последних трех ревизионных периодов (2003, 2013 и 2023 гг.) и исключения земель других землепользователей (296,3 га) на современном этапе составляет 216,9 тыс. га [12–14].

На текущее время по правовому статусу на основании Постановления СМ БССР от 27.08.1986 г. № 266-17, Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 22.08.1986 г. № 1005 – 285, Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 20.06.1986 г. № 745-209, Постановления СМ БССР от 26.06.1986 г. № 194-13 и Распоряжения СМ БССР РИ 28.05.1986 г. № 418 РС лесной фонд лесничеств Наровлянского участка (Вербовичское, Припятское, Дерновичское, Партизанское), Хойникского (Воротецкое, Новопокровское, Радинское, Бабчинское, Оревичское) и Брагинского (Богушевское, Верхнеслободское, Крюковское, Колыбаньское, Чикаловичское) относится к зоне эвакуации (отчуждения) площадью 183,2 тыс. га, составляющей 84,5 % от общей площади ПГРЭЗ и только 15,5 % его территории площадью 33,7 тыс. га. (лесной фонд Тульговичского и Хильчанского лесничеств) относится к зоне последующего отселения.

Формирование границ зоны эвакуации (отчуждения) с учетом выделения 10-, 30- и 50-километровых зон, а также этапов эвакуации и резэвакуации населенных пунктов в рамках границ ПГРЭЗ, присоединения земель к его территории, не относящихся к зоне эвакуации, и уточнения границ при турах лесоустройства за пост-чернобыльский период приведено на рис. 2.

⁶Отчет по договору №11/92-93/3. Концепция зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь. Минск, 1993. 214 с.

Этапы становления границ территории зоны эвакуации (отчуждения) и Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в период с 1986 по 2025 гг.

Stages of formation of the boundaries of the evacuation (exclusion) zone and the Polesie State Radiation and Ecological Reserve in the period from 1986 to 2025

Этап	Период, год	Нормативно-правовые акты. Основополагающие документы	Управленческие решения, подходы и практические меры	Динамика земель, тыс. га
1	04–05.05.1986	Распоряжение Совета Министров Белорусской ССР от 20 июня 1986 г. № 481-рс (Приложение 2)	Эвакуировано 50 населенных пунктов с 10- и 30-километровой зоны (31 – Брагинский, 12 – Хойникский и 8 – Наровлянский р-ны). Определен перечень населенных пунктов, входящий в зону с уровнем радиации 20 и более миллирентген в час. (4,9 тыс. дворов, 12,6 тыс. чел.) [1; 4; 15].	47,0
1.1	10.05.1986	Постановление ЦК Компартии Белоруссии и Совета Министров БССР от 27 августа 1986 г. № 266-17 (Приложение 2)	Определен перечень населенных пунктов, входящий в 30-километровую зону с уровнем радиации 5–20 миллирентген в час (28 – Брагинский, 8 – Хойникский и 11 – Наровлянский р-ны).	102,4 194 (90,8 – с.х угодий и 81,9 – леса) [1; 16])
2	03–10.06.1986	Распоряжение Совета Министров Белорусской ССР от 20 июня 1986 г. № 481-рс (Приложение 2)	Эвакуировано 28 населенных пунктов (18 – Брагинский, 6 – Хойникский и 4 – Наровлянский р-ны), (6017 чел.) [1; 4; 15].	
2.1	11.06.1986	Постановление ЦК КППБ и Совета Министров БССР от 11.06.1986 г. №170-9	Проведено описание линии внутренней изгороди, установленной по границе зоны эвакуации (отчуждения), а также по согласованию с Госкомгидрометом установлены границы изымаемых из хозяйственного пользования участков, опасных по радиоактивного загрязнению.	
3	27.08–30.09.1986	Распоряжение Совета Министров Белорусской ССР от 20 июня 1986 г. № 481-рс (Приложение 2)	Эвакуировано 29 населенных пунктов (5 – Брагинский, 2 – Хойникский и 22 – Наровлянский р-ны). 3026 дворов, 7327 чел. [1; 4; 15].	194 142,8 51,2
4	09.12.1986	Распоряжение Правительства № 943-РС от 09.12.1986 г.	Резэвакуация 12 населенных пунктов Брагинского р-на, из которых жители были отселены на 1 этапе, 1600 чел. [1; 4; 5; 15]).	
4.1	18.09.1987	Распоряжение Совета Министров БССР № 447-р от 18 сентября 1987 г.	Резэвакуация 2 населенных пунктов Брагинского района, из которых жители были отселены на 3 этапе (Соболи, Красная Гора).	
4.2	06.12.1987	Решение Республиканской комиссии № 486 от 06.12.1987 г.	Территория зоны отселения (194 тыс. га, в том числе 90,8 – с. х. угодий, 95 населенных пунктов, 9,6 тыс. дворов и 23,05 тыс. чел. населения) разделена на: – зону отчуждения (60,9 – с. х. угодий, населенных пунктов – 56, дворов – 5,4 тыс., чел. – 12,25 тыс.); – зону отселения (29,9 – с. х. угодий, населенных пунктов – 39, дворов – 4,2 тыс., чел. – 10,8 тыс.) [16].	
4.3	1986–1987		Войсками Министерства обороны СССР было захоронено 13 населенных пунктов: 6 – Брагинский, 2 – Хойникский и 5 – Наровлянский р-ны, входящие в границы зон отселения и отчуждения [1]	

Продолжение табл.

Continue table

Этап	Период, год	Нормативно-правовые акты. Основополагающие документы	Управленческие решения, подходы и практические меры	Динамика земель, тыс. га
5	24.02.1988	Постановление ЦК КПБ и Совета Министров БССР № 59-5 от 24 февраля 1988 г. «О ходе выполнения работ по ликвидации в республике последствий аварии на Чернобыльской АЭС и задачах, вытекающих из решения Политбюро ЦК КПСС от 14 января 1988 года»	Принято предложение Гомельского облисполкома об установлении на территории зоны отселения зоны отчуждения площадью 142,8 тыс. га и запрете на данной территории всякой сельскохозяйственной деятельности. (56 н. п. [1]). Это постановление положило начало созданию на территории белорусского сектора зоны отчуждения Полесского государственного экологического заповедника площадью 131,3 тыс. га, в состав которого вошли земли государственного лесного фонда Комаринского, Наровлянского и Хойникского лесхозов, а также земли сельскохозяйственных предприятий Брагинского, Наровлянского и Хойникского р-нов, находившихся в пределах 30-километровой зоны ЧАЭС	142,8 (60,9 – сельхозугодий и 81,9 – леса) 131,3
5.1	03.05.1988		Вынос в натуру границ заповедника силами воинских частей гражданской обороны (Полоса шириной 10 м, протяженностью 165 км с вырубкой лесонасаждений, отсыпкой полотна для проезда патрульных машин и установкой 1650 шт. предупреждающих знаков) ⁷ . (Установка 50 тыс. столбов с колючей проволокой по периметру 186 км) [10]	131,3
5.2	23.08.1988	Распоряжение Гомельского областного Совета народных депутатов от 23 августа 1988 г. №354-р «О создании временной администрации Полесского государственного экологического заповедника»	Ставится задача областной инспекции по охране природы совместно с Хойникским райисполкомом в срок до 1 сентября 1988 г. создать временную администрацию Полесского государственного экологического заповедника общей численностью 14 единиц, изысканием помещений размещения временной администрации и обеспечения нуждающихся специалистов жильем	
5.3	10.02.1989	Постановление Совета Министров Белорусской ССР от 10 февраля 1989 года за № 122 «О переименовании Полесского государственного экологического заповедника в Полесский государственный радиационно-экологический заповедник и о некоторых вопросах его деятельности»	Заповедник был переименован из «Полесского экологического заповедника» в «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»	

⁷Отчет по договору №11/92-93/3. Концепция зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь. Минск, 1993. 214 с.

Продолжение табл.

Continue table

Этап	Период, год	Нормативно-правовые акты. Основополагающие документы	Управленческие решения, подходы и практические меры	Динамика земель, тыс. га
5.4	27.12.1990	Постановление Совета Министров Белорусской ССР от 27 декабря 1990 г. за №344 «О передаче Полесского государственного радиационно-экологического заповедника из ведения государственного Комитета БССР по экологии в ведение государственного Комитета БССР по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС»	Заповедник был передан из ведения государственного Комитета БССР по экологии в ведение государственного Комитета БССР по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС	
5.5	01.01.1991	Лесоустройство [11]	131,3 (60,7 – леса, 58,3 сельхозугодий)	
5.6	07.04.1992	Постановление Совета Министров Республики Беларусь №190 от 7 апреля 1992 г. «Об управлении территорией зоны эвакуации (отчуждения)»	Зона эвакуации (отчуждения), передана в хозяйственном отношении Полесскому государственному радиационно-экологическому заповеднику ⁸ . На Администрацию зон отчуждения и отселения Государственного комитета по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС возложено управление территорией зоны эвакуации (отчуждения). Гомельскому облисполкому по согласованию с заинтересованными министерствами и ведомствами ставится задача решить в установленном порядке вопрос о передаче Полесскому государственному радиационно-экологическому заповеднику примыкающих к его границам территорий, с которых отселены жители	
6	03.03.1993	Решение Президиума Верховного Совета Республики Беларусь № 2384-XII от 14 июля 1993 г. Решение Гомельского исполнительного комитета «Об отводе земельных участков предприятиям, организациям и учреждениям области» № 71 от 03.03.1993 г.	По истечении пяти лет оставшиеся земли площадью 62,7 тыс. га, а также не перспективные земли площадью 21,4 тыс. га вошли в состав ППРЭЗ в марте 1993 г., сформировав современные границы ППРЭЗ, включая территории Брагинского (33355 га), Хойникского (27700 га), Наровлянского (20859 га), Мозырского (1065 га) и Калинковичского (1091 га) р-нов	84,1 (215,4)

⁸Отчет по договору №11/92-93/3. Концепция зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь. Минск, 1993. 214 с.

Окончание табл.

Ending table

Этап	Период, год	Нормативно-правовые акты. Основопологающие документы	Управленческие решения, подходы и практические меры	Динамика земель, тыс. га
6.1	06.06.1994	Протокол совещания Госкомчернобыля Республики Беларусь и Минчернобыля Украины № 8.74.92	Утверждена Председателем Госкомчернобыля Республики Беларусь «Концепция содержания зон отчуждения и отселения», учитывающая различные варианты (сценарии) долгосрочного содержания зон отчуждения и отселения. Результаты выполнены в рамках НИР №11/92-93/3 [17]	
7	01.01.2003	Лесоустройство [12]	216,2 (196,1 – лесные земли, 20,1 – нелесные земли)	
7.1	01.01.2013	Лесоустройство [13]	216,1 (163,7 – лесные земли, 52,4 – нелесные земли)	
7.2	21.01.2013	Указ Президента Республики Беларусь, 21 января 2013 г., № 41 «О Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике» (в ред. Указов от 10.04.2014 № 159, от 27.07.2017 г., № 259 от 6 нояб. 2018 г., № 431; от 14 ноября 2022 г., № 405)	Утверждено Положение о ПГРЭЗ и его границы, и его охранный зона, площадь и состав земель, а также границы, площади и состав земель заповедной и экспериментально-хозяйственных зон. Площадь земель, предоставленных ПГРЭЗ в постоянное пользование, составляет 216 877 га, в том числе в Брагинском р-не 64 591 га, Наровлянском – 64 103 га, Хойникском – 88 183 га, включая реку Припять в границах ПГРЭЗ (1504 га), которая передана в безвозмездное пользование. В состав земель лесного фонда ПГРЭЗ, образующих его территорию, не входят земли землевладельцев районов, расположенные в его границах, но специальное назначение которых не отвечает природоохранным целям: в Брагинском – 64,5 га; в Наровлянском – (184,6 га); в Хойникском р-не – (47,7 га). Общая площадь этих земель составляет 296,8 га	216,877 296,8 (217 173,8)
7.3	27.07.2017	Указ Президента Республики Беларусь от 27.07.2017 г. № 259 «Об изменении Указа Президента Республики Беларусь»	Упразднена установленная с 2013 г. охранный зона шириной один километр, прилегающая к границам ПГРЭЗ со стороны Брагинского, Калинковичского, Наровлянского, Мозырского и Хойникского р-нов	
7.4	14.11.2022	Указ Президента Республики Беларусь, 21 января 2013 г., № 41 «О Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике» (в ред. Указа от 14 ноября 2022 г., № 405)	С 1 января 2023 г. ликвидированы Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС и Администрация зон отчуждения и отселения. ПГРЭЗ передан в подчинение Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды	
7.5	01.01.2023	Лесоустройство [14]	216,9 (175,4 – лесные земли, 41,5 – нелесные земли)	

КАРТА-СХЕМА

границ циркульных и условных зон радиоактивного
загрязнения территорий и формирования границ
Полесского государственного радиационно-экологического заповедника

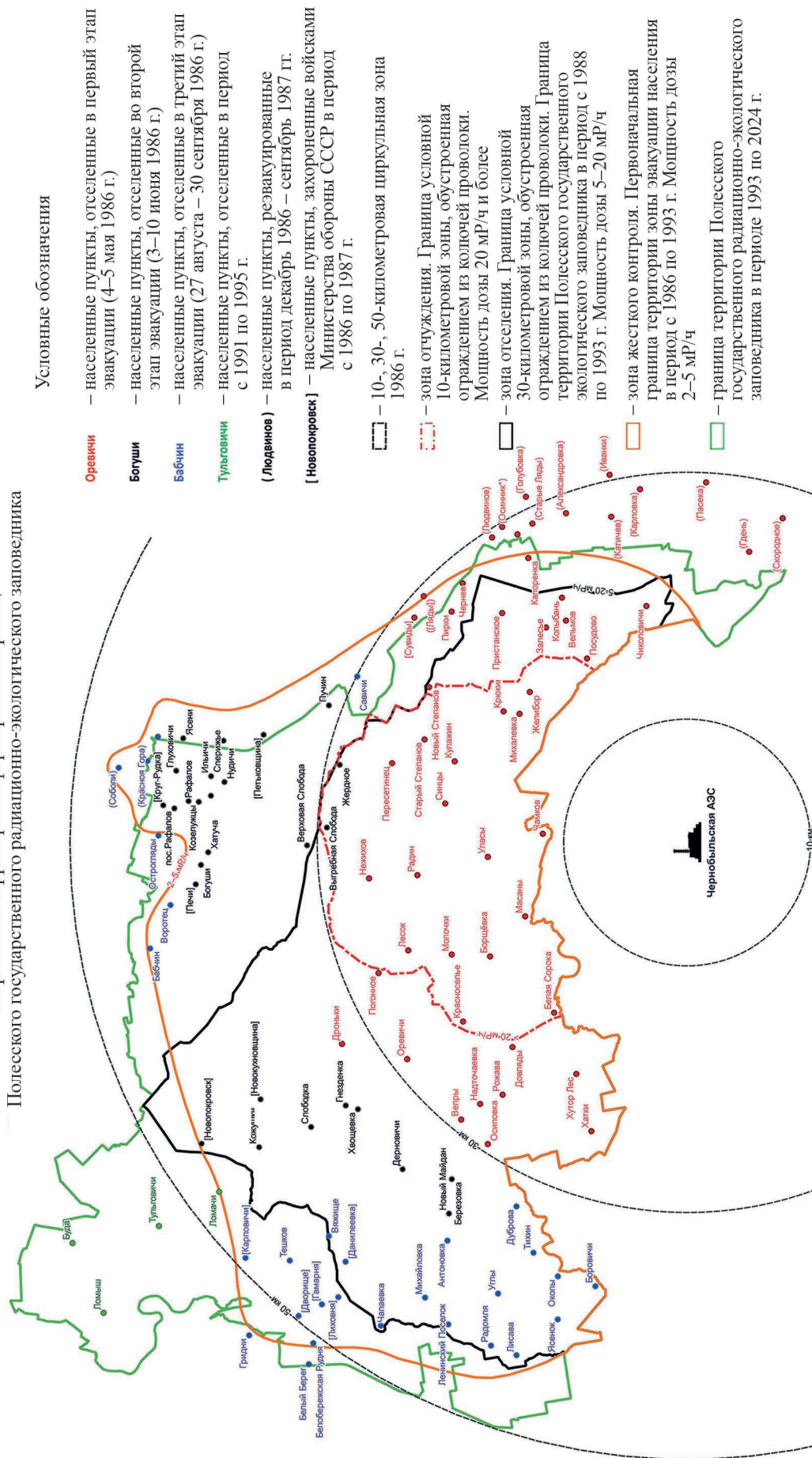


Рис. 2. Становление границ зоны эвакуации (отчуждения) и территории ПГРЭЗ в период с 1986 по 2025 г.
Fig. 2. Formation of the boundaries of the evacuation (exclusion) zone and the territory of the PSRER in the period from 1986 to 2025

В 1993 г. были завершены научные изыскания по созданию Концепции зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь⁹, результаты которых распространялись на 30-километровую зону и предусматривали варианты (сценарии) долгосрочного ее содержания. Научно-практические подходы, выработанные применительно к зоне эвакуации (отчуждения) легли в основу создания в 1994 г. Концепции зоны отчуждения и отселения [17] для всех территорий республики, выведенных по радиационному фактору вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Документом¹⁰ предусматривалось несколько векторов оптимизации: экономическое направление, цель которого включить в исследование максимальное количество природных ресурсов: экологическое – с целью минимизации воздействия зоны на сопредельные территории, создание предпосылок для устойчивого существования геосистем в зоне, минимум людей в зоне и т. д. Наличие этих и других направлений предопределяется потребностями государства, которые обусловлены самим фактом существования зоны отчуждения. Исходя из вышесказанного, к рассмотрению в качестве сценария возможного способа содержания и эксплуатации зоны принимались следующие варианты как основные стратегические направления, которые рассмотрены последовательно – от консервативного к радикальному, несмотря на явную экологическую или экономическую неприемлемость некоторых из них.

Вариант 1. Поддержание режима абсолютной заповедности на всей территории зоны отчуждения. Для этого предусматривалось прекращение всех видов хозяйственной или иной деятельности, за исключением работ, направленных на поддержание заповедного режима, обеспечение научно-исследовательских и контрольных работ.

Вариант 2. Обеспечение изоляции с минимизацией распространения радиоактивных элементов за границы зоны. Решение этой задачи, помимо соблюдения режима заповедности, требует поддержания в эксплуатационном состоянии основной хозяйственно-транспортной инфраструктуры (отдельных дорог, мостов, линий электропередач, трубопроводов, систем связи, гидротехнических сооружений, некоторых капитальных зданий, которые представляют материальную ценность и могли бы использоваться при выполнении научных или иных работ. Одновременно по этому варианту предусматривалось проведение минимально необходимых работ по поддержанию лесного и мелиоративного хозяйств на контролируемо-управляемом уровне, обеспечивающем предотвращение катастрофических и стихийных процессов в зоне (лесные и торфяные пожары, затопления, наводнения, эпизоотии диких животных в условиях неконтролируемого их размножения и т. п.). Для этого необходим постоянный контроль и соответствующие технические службы.

Вариант 3. Реабилитация зоны с возвращением в народно-хозяйственный оборот территории и вторичное использование объектов и материалов. Учитывая наличие качественной и количественной неоднородности загрязнения, а также неодинаковую способность ландшафтов зоны к самоочищению, наряду с комплексом мероприятий, провести районирование зоны отчуждения с учетом возможности вариантов ее непосредственного и перспективного поэтапного использования в народном хозяйстве, предусмотрев как возможное использование находящихся в пределах зоны ресурсов, так и создание новых объектов. Это должно сопровождаться проведением необходимого комплекса дезактивационных мероприятий и мероприятий, направленных на сохранение хозяйственной ценности сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов, мелиоративных систем немагистрального уровня и т. д. Данным вариантом предусматривалось несоизмеримо более высокий уровень материальных и финансовых затрат и получение персоналом большой коллективной дозы облучения.

Вариант 4. Использование территории для размещения радиоактивных отходов и отходов дезактивации. Документом рассматривается лишь подвариант захоронения отходов дезактивации с учетом зонирования территории и геолого-гидрологических условий предполагаемых мест захоронения. Следует подчеркнуть, что именно по последнему критерию характеризующаяся территория весьма неблагоприятна для создания могильников радиоактивных отходов.

Окончательные результаты экспертных оценок, в которые были включены сценарии сельскохозяйственной реабилитации земель зоны отчуждения, концепции лесовосстановления, лесоразведения и лесозащиты, концепции обращения с радиоактивными отходами, концепции хранения радиоактивных отходов, концепции охранного и противопожарного режима, концепции обеспечения радиационной безопасности персонала зоны отчуждения показали, что наиболее предпочтительным вариантом содержания зоны эвакуации (отчуждения) является второй вариант – обеспечение изоляции зоны с минимальной производственной деятельностью, связанной с предотвращением распространения

⁹Отчет по договору №11/92-93/3. Концепция зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь. Минск, 1993. 214 с.

¹⁰Там же.

радиоактивных элементов за границы зоны. Следует отметить, что этот вариант максимально соответствует Закону¹¹.

Ни вариант, предусматривающий полную изоляцию «зоны» и исключающий всякую хозяйственную деятельность, ни третий и четвертый, предусматривающие широкое вовлечение этих территорий в хозяйственное использование, не являются оптимальными ни с точки зрения состояния природных систем, воздействия на сопредельные территории, ни с точки зрения дозовых нагрузок на персонал, задействованный на осуществление планируемых мероприятий по дезактивации и ведению хозяйственной деятельности. Одновременно можно констатировать, что наиболее опасные факторы воздействия стихийные явления катастрофического характера (лесные и торфяные пожары и паводки), не могут быть проконтролированы в рамках запланированных мероприятий. Это влечет за собой необходимость проведения мероприятий по поддержанию в зоне минимально необходимой работоспособной инфраструктуры транспортной, связевой, энергетической и т. д. Одновременно проведение масштабных мероприятий по третьему и четвертому вариантам влечет за собой усиление воздействия на сопредельные территории, увеличение коллективной дозы и очень значительные экономические издержки, которые должны быть компенсированы получением качественной продукции в достаточном объеме. Таким образом, исходя из полученных значений, оптимальный вариант Концепции был сформулирован следующим образом:

1. Предусматривается режим жесткой изоляции зоны эвакуации (отчуждения), предотвращающий бесконтрольный доступ граждан, ввоз и вывоз материалов;

2. Для предотвращения стихийных катастрофических явлений и контроля за состоянием природно-техногенных систем предусматривается проведение комплекса мероприятий, включающих научный мониторинг, создание противопожарных полос, управление гидротехническими сооружениями, а также поддержание в работоспособном состоянии дорог, мостов, высоковольтных линий, трансформаторных подстанций, систем связи и местного водоснабжения.

3. Для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности временно находящегося на территории зоны эвакуации (отчуждения) персонала предусмотреть обеспечение его спецтранспортом, а также проведение минимально необходимого объема дезактивационных и строительных мероприятий, включая мероприятия по расчистке дорог к ключевым объектам.

4. Учитывая, что вынос радионуклидов за пределы зоны осуществляется, главным образом, путем ветрового подъема или водным стоком, а основными физико-химическими процессами, которые могут существенно повлиять на изменение радиационной обстановки как в зоне, так и за ее пределами, являются увеличение подвижности радионуклидов и уменьшение интенсивности их латеральной и вертикальной миграции, предусмотреть постоянный контроль за состоянием поверхностного стока, воздуха и форм нахождения радионуклидов в почве.

5. Предусмотреть проведение мероприятий для осуществления мониторинга, а в случае необходимости – регулирования численности диких животных. Необходим научный мониторинг за растительными сукцессиями, и при необходимости регулирование этого процесса.

6. Провести районирование (зонирование) зоны эвакуации (отчуждения) с учетом ландшафтной и радиоэкологической неоднородности, дифференцировав участки по степени опасности, чем и руководствоваться при проведении любых мероприятий.

7. Предусмотреть проведение квалифицированной юридической и экономической экспертизы предлагаемого варианта концепции.

Предлагаемый комплекс мероприятий не исключает одновременного проведения в зоне эвакуации (отчуждения) отдельных работ по захоронению отходов дезактивации. Одновременно количественный анализ показывает, что мероприятия по перезахоронению уже имеющихся объектов не эффективны, так как ведут, с одной стороны, к увеличению коллективной дозы, а с другой стороны, создавая проблему жесткого контроля могильников, существенно не улучшают ни экологическую и радиационную обстановку.

Необходимо отметить, что на основании анализа исходных данных, выводов и заключений, сделанных при разработке Концепции¹² особым вопросом предложено обоснование Концепции экономического содержания зоны отчуждения и социально-экономического положения персонала. Данный документ не был создан, хотя необходимость его создания была продиктована экономической оценкой предлагаемых сценариев содержания зоны. Данный вопрос остается актуальным по настоящее время.

¹¹ О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС: Закон Республики. Беларусь, 26 мая 2012 г., № 385-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2012. № 63. 2/1937.

¹² Отчет по договору №11/92-93/3. Концепция зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь. Минск, 1993. 214 с.

Практика содержания территории ПГРЭЗ спустя 40 лет после катастрофы показала, что второй вариант ее использования предметно дополняется первым. Запрет на большинство видов деятельности, за исключением деятельности по содержанию территории, сформировали условия для сохранения природно-климатических ландшафтов, биоразнообразия, поддержания численности исчезающих видов животных и растений, уже не встречающихся на сопредельных территориях. «Заповедность» ПГРЭЗ не признается ни одним юридическим документом, регулирующим вопросы особо охраняемых природных территорий, поэтому данная территория никогда не была заповедником, несмотря на то что по всем критериям, согласно Закону Республики Беларусь от 15 ноября 2018 г. № 150-З «Об особо охраняемых природных территориях»¹³ соответствует полноценному биосферному заповеднику.

Значимость и эффективность роли ПГРЭЗ в природоохранном биосферном, лесоклиматическом и научном аспектах, а также в осуществлении радиационной безопасности персонала и населения, минимизации трансграничного переноса радионуклидов ограничивает не урегулированный на законодательном уровне вопрос формирования заповедных территорий на радиоактивно загрязненной местности как мера их реабилитации. Уже нельзя игнорировать результаты исследований флоры и фауны ПГРЭЗ – это полноценное природоохранное учреждение, которое по разнообразию видов флоры и фауны не уступает ведущим республиканским и международным резерватам. Оценка соответствия его территории критериям, согласно которым природные территории относятся к заповедникам, показала, что ПГРЭЗ отвечает 5 общим и всем 3 специальным критериям [18]. На сегодняшний день имеются веские аргументы для придания ПГРЭЗ статуса особо охраняемой природной территории, основанные на оценке природоохранного, организационно-технического потенциала и радиационной обстановки его территории. Спустя 40-летний постчернобыльский период, для данной территории остается не выясненным ключевой вопрос, игнорировать который невозможно, но именно его разрешение на государственном уровне позволит минимизировать влияние последствий радиационной аварии на население сопредельных территорий: придание зоне особого правового режима, которой является ПГРЭЗ, **бинарного правового статуса**, определяемого законодательством, регулирующим вопросы режима территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению и вопросы особо охраняемых природных территорий. Учитывая режим функционирования данной территории и анализ их высокого биологического разнообразия оптимальным является придание статуса **биосферного радиационно-экологического заповедника**.

Как следует из анализа планируемых подходов, сформированных для содержания зоны эвакуации (отчуждения) на практике за постчернобыльский период, они реализованы не в полной мере. Особую обеспокоенность вызывает, с одной стороны – недооцененность зоны эвакуации (отчуждения) как сложнейшего в радиационном аспекте объекта, наряду с его актуализацией радиационной обстановки всего спектра изотопов, с другой – тенденция (прессинг) максимального вовлечения в оборот земель, отчужденных по радиационному фактору Гомельской и Могилевской областей, включая территорию ПГРЭЗ, при которой радиационный аспект, имеющий максимальные для населения риски, игнорируется по причине зачастую принятия решения без научного, экономического обоснования получения выгод. Иными словами, создается ситуация «восстановления» территории, реабилитировать которую в долгосрочной перспективе не представится возможным, поскольку приведение ее в безопасное для населения состояния для дальнейшего использования в различных целях ни с экономической, ни с радиоэкологической точек зрения не осуществимо из-за отсутствия в мире технологий и практик.

Отсутствие всесторонне обоснованного правового статуса территории, включая экономическую составляющую, создает прецедент применения подходов ведения деятельности по принципу «чистых территорий», не учитывающих специфику радиоактивного загрязнения.

Заключение

Территориально границы зоны отчуждения были сформированы после аварии на Чернобыльской АЭС, в мае-июне 1986 г. Для их установления использовались показатели мощности экспозиционной дозы на 10 мая 1986 г., превышающие 5 мР/час с привязкой к населенным пунктам. К 10 числу были выделены три зоны по гамма-фону без учета качественного состава смеси радионуклидов (наличие коротко- и среднеживущих радионуклидов). В состав зоны отчуждения и отселения вошли земля суммарной площадью 194 тыс. га, из которых на зону отчуждения пришлось – 47 тыс. га, на зону отселения – 102,4 тыс. га и на зону жесткого контроля – 44,6 тыс. га. Для обеспечения радиационной безопасности, охранного и противопожарного режима границы указанных зон были вынесены в натуру. На современном этапе за счет уточнения земле- и лесоустроительных материалов площадь зоны эвакуации (отчуждения) составляет 183,2 тыс. га, или 84,5 % территории ПГРЭЗ. Циркулярные 10-и 30-километровые зоны

¹³ Об особо охраняемых природных территориях : Закон Республики. Беларусь, 15 ноября 2018 г. № 150-З // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. Минск, 2018. 2/2588.

определялись как территории при расчетных сценариях в случае катастрофы и законодательно не были закреплены.

Территориально границы Полесского государственного радиационно-экологического заповедника были сформированы в два этапа. На первом, (1988 г.) в их состав вошла территория ближней (47 тыс. га) и часть дальней, 30-километровой суммарная их площадь составила 131,3 тыс. га. На втором этапе, (1993 г.) земли площадью 84,1 тыс. га вошли в состав ППРЭЗ, поглотив всю территорию зоны эвакуации (отчуждения) площадью 62,7 тыс. га, а также присоединив земли, не относящиеся по правовому статусу к зоне эвакуации (отчуждения) суммарной площадью 21,4 тыс. га. В результате площадь ППРЭЗ на конец 1993 г. составила 215,4 тыс. га, которая за счет уточнения территории в при лесоустроительных работах последних трех ревизионных периодов (2003 г., 2013 г., 2023 г.), а также исключения земель других землепользователей (296,3 га) на современном этапе составила 216,9 тыс. га.

Обобщена правовая основа, регулирующая решения руководящих органов по эвакуации населения, отнесению населенных пунктов к зоне эвакуации (отчуждения). Всего на август 1986 г. из 107 населенных пунктов Гомельской области было эвакуировано 24,7 тыс. чел., из которых на территории области остались проживать 18 116 чел. На основании актуальных данных о радиоактивном загрязнении территории и дозах облучения законодательно была фактически упразднена зона временного выселения, поскольку все населенные пункты этой зоны были переведены в зону отчуждения, а отселенные жители по мерам социальной защиты (возмещение материального ущерба, трудоустройство, обеспечение жильем и т. д.) приравнивались к населению, эвакуированному из зоны отчуждения.

В 1993 г. были завершены научные изыскания по созданию Концепции зоны отчуждения и отселения на территории Республики Беларусь, результаты которых распространялись на 30-километровую зону и предусматривали варианты (сценарии) долгосрочного ее содержания. Окончательные результаты экспертных оценок показали, что наиболее предпочтительным вариантом содержания зоны эвакуации (отчуждения) является вариант обеспечения изоляции зоны с минимальной производственной деятельностью, связанной с предотвращением распространения радиоактивных элементов за границы зоны (вариант 2), который исходя из практики содержания территории ППРЭЗ спустя 40 лет после катастрофы дополняется режимом абсолютной заповедности на всей территории зоны отчуждения (вариант 1). Данные сценарии являются актуальными по настоящее время и соответствуют в полной мере требованиям Закона «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС». Радиоактивность определила заповедность территории, относящейся юридически к зоне особого правового режима, а именно, зоне эвакуации (отчуждения), которая только по названию определена как «заповедник». Необходимость его создания обусловлена исключительно сложностью радиационной обстановки, наличием излучений от источника, которым является вся его территория, загрязненная долгоживущими радионуклидами чернобыльского происхождения, охватывающих периоды полураспада на тысячелетия.

Значительная по площади территория ППРЭЗ (леса, поля, поверхностные водные объекты, включая грунтовые воды, участки бывших населенных пунктов), сформированная в результате аварии на объектах использования атомной энергии, длительный период времени будет сохранять риск радиоактивного облучения населения и вероятность радиоактивного загрязнения сопредельных территорий, включая трансграничные. Спустя 40-летний постчернобыльский период, для данной территории остается не разрешенным ключевой вопрос, игнорировать который невозможно, однако его разрешение на государственном уровне позволит только повысить уровень безопасности и снизить последствия радиационной аварии на население сопредельных территорий – это придание зоне особого правового режима, которой является ППРЭЗ, бинарного правового статуса, определяемого законодательством, регулирующим вопросы режима территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС и вопросы особо охраняемых природных территорий. Учитывая режим функционирования данной территории и анализ ее высокого биологического разнообразия оптимальным является придание статуса биосферного радиационно-экологического заповедника.

На основании изложенного, помимо бинарного статуса, актуальным стратегическим вопросом, определяющим долгосрочное функционирование и развитие ППРЭЗ, являющегося объектом ядерного наследия и в состав которого вошла территория зоны эвакуации (отчуждения), является создание Концепции на основе актуализации радиационной обстановки и экономической составляющей, определяющей осмысление наработанного опыта, современных тенденций и сценариев.

Библиографические ссылки

1. Адамушко ВИ, и др. *Чернобыль. 26 апреля 1986 – декабрь 1991. Документы и материалы*. Минск: НАРБ; 2006. 484 с.
2. *Чернобыльская катастрофа*. Киев: Наукова думка; 1995. 32 с.
3. Ильин ЛА. *Реалии и мифы Чернобыля*. Москва: НПП «ALARA Limited»; 1996. 467 с.

4. О статусе населенных пунктов зон эвакуации (отчуждения) и отселения. Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. Минск: Отдел реабилитации загрязненных территорий; 2004. 245 с.
5. Радиоэкологическое состояние зоны отчуждения Чернобыльской АЭС на территории Республики Беларусь. Информационно-справочный бюллетень. 1995;1:29.
6. Скоробогатов АМ, Герменчук МГ, Симонов АВ, и др. Об установлении границ зон радиоактивного загрязнения в результате крупных радиационных аварий. Сообщение I. Ретроспективный анализ опыта зонирования при аварии на ЧАЭС. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017;62(5):11–20. DOI: 10.12737 / article_59f2f1e5d45cc5.39553012.
7. Сивинцев ЮВ, Калачов ВА, редакторы. Чернобыль. Пять трудных лет. В: Сборник материалов о работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986–1990 гг. Москва: Издательский дом; 1992. 384 с.
8. Израэль ЮА, редактор. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Ленинград: Гидрометеониздат; 1990. 297 с.
9. Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов. Часть I. 20 years after Chernobyl. Strategy for recovery and sustainable development of the Affected regions. Part I. В: Материалы международной конференции, 19–21 апреля, 2006 г., Минск. Минск: Беларусь; 2006. 164 с.: ил.
10. Малашэвіч ЯВ, редактор. Чарнобыль. Погляд праз дзесяцігоддзе. Даведнік. Минск: БелЭн; 1996. 319 с.
11. Проект организации и развития лесного хозяйства Полесского государственного радиационно-экологического заповедника Государственного комитета Республики Беларусь по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 1991–2000 г. Минск: [б. и.]; 1991. Том 1. 324 с.
12. Проект организации и ведения лесного хозяйства Полесского государственного радиационно-экологического заповедника Государственного комитета Республики Беларусь по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2001–2010 гг. Том 1. Пояснительная записка. Гомель: [б. и.]; 2003. 194 с.
13. Проект организации и ведения лесного хозяйства Государственного природоохранного научно-исследовательского учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь на 2013–2022 гг. Том 1. Пояснительная записка. Гомель: [б. и.]; 2012. 262 с.
14. Лесоустроительный проект Государственного природоохранного научно-исследовательского учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь на 2021–2030 годы. Пояснительная записка. Минск: [б. и.]; 2020. 209 с.
15. Адамушко ВИ, и др. Чернобыльская катастрофа. 1986–1991. Документы и материалы. Минск: Институт радиологии; 2011. 336 с.
16. Покумейко ЮМ, Яскевич ВН. Радиационная обстановка на территории Белорусской ССР. В: Игнатенко ЕИ, редактор. Чернобыль 88. Доклады Всесоюзного научно-технического совещания по итогам ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. Том 1. Радиационная обстановка. Чернобыль: [б. и.]; 1989. с. 134–141.
17. Концепция зоны отчуждения и отселения. Минск: Государственный комитет по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС; 1994. 94 с.
18. Чайковский АИ, Кудин МВ, Груммо ДГ, Максименков МВ, Устин ВВ. К вопросу о придании природоохранного статуса Полесскому Государственному радиационно-экологическому заповеднику. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2024;69(4):80–88. Doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-1-80-88.

References

1. Adamushko VI, et al. Chernobyl. 26 aprlja 1986 – dekabr 1991. Dokumenty i materialy [Chernobyl. April 26, 1986 – December 1991. Documents and materials]. compiled by Minsk: NARB; 2006. 484 p. Russian.
2. Chernobyl'skaja katastrofa [The Chernobyl Disaster]. Kyiv: Scientific Thought; 1995. 32 p. Russian.
3. Il'in LA. Realii i mify Chernobylja [Realities and Myths of Chernobyl]. Moscow: NPP «ALARA Limited»; 1996. 467 p. Russian.
4. O statuse naselennykh punktov zon jevakuacii (otchuzhdenija) i otselenija. Komitet po problemam posledstvij katastrofy na Chernobyl'skoj AJeS [On the Status of Settlements in the Evacuation (Exclusion) and Resettlement Zones. Committee on the Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster. Department for the Rehabilitation of Contaminated Areas]. Minsk: Otdel rehabilitacii zagriznennykh territorij; 2004. 245 p. Russian.
5. Radiojeologicheskoe sostojanie zony otchuzhdenija Chernobyl'skoj AJeS na territorii Respubliki Belarus [Radioecological State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone in the Republic of Belarus]. Informacionno-spravochnyj bjulleten [Information and Reference Bulletin]. 1995;1:29. Russian.
6. Skorobogatov AM, Germenchuk MG, Simonov AV, et al. Ob ustanovlenii granic zon radioaktivnogo zagriznenija v rezul'tate krupnykh radiacionnykh avarij. Soobshhenie I. Retrospektivnyj analiz opyta zo-nirovanija pri avarii na ChAJeS [On the Establishment of the Boundaries of Radioactive Contamination Zones Resulting from Major Radiation Accidents. Report I. Retrospective analysis of zoning experience during the Chernobyl accident]. Medical Radiology and Radiation Safety. 2017;62(5):11–20. DOI 10.12737 / article_59f2f1e5d45cc5.39553012. Russian.
7. Sivintsev YuV, Kalachov VA, editors. Chernobyl'. Pjat' trudnykh let. V: Sbornik materialov o rabotah po likvidacii posledstvij avarii na Chernobyl'skoj AJeS v 1986–1990 gg. [Chernobyl. Five Difficult Years. In: Collection of Materials on the Efforts to Eliminate the Consequences of the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant in 1986–1990]. Moscow: Publishing house; 1992. 384 p. Russian.
8. Izrael YuA, editor. Chernobyl': radioaktivnoe zagriznenie prirodnykh sred [Chernobyl: Radioactive Contamination of the Natural Environment]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1990. 297 p. Russian.
9. Chernobyl' 20 let spustja. Strategija vosstanovlenija i ustojchivogo razvitija postradavshih regionov. Chast' I. 20 years after Chernobyl. Strategy for recovery and sustainable development of the Affected regions [Chernobyl 20 Years Later. Strategy for Recovery and Sustainable Development of the Affected Regions. Part I. 20 years after Chernobyl. Strategy for recovery and sustainable development of the affected regions]. Part I. In: Proceedings of the International Conference, 2006 April 19–21, Minsk. Minsk, Belarus; 2006. 164 p. Russian.
10. Malashevich YaV, editor. Charnobyl'. Pogljad праз dzesjacigoddze [Chernobyl. A look through a decade]. Reference book. Minsk: BelEn; 1996. 319 p. Belarusian.

11. *Proekt organizacii i razvitija lesnogo hozjajstva Polesskogo gosudarstvennogo radiacionno-jekologicheskogo zapovednika Gosudarstvennogo komiteta Respubliki Belarus' po problemam posledstvij katastrofy na Chernobyl'skoj AJeS na 1991–2000 g.* [Project for the Organization and Development of Forestry in the Polesie State Radiation and Ecological Reserve of the State Committee of the Republic of Belarus for the Problems of the Consequences of the Catastrophe at the Chernobyl Nuclear Power Plant in 1991–2000. Volume 1]. Minsk: [publisher unknown]; 1991. 324 p. Russian.
12. *Proekt organizacii i vedenija lesnogo hozjajstva Polesskogo gosudarstvennogo radiacionno-jekologicheskogo zapovednika Gosudarstvennogo komiteta Respubliki Belarus' po problemam posledstvij katastrofy na Chernobyl'skoj AJeS na 2001–2010 g.* [Project for the organization and management of forestry of the Polesie State Radiation and Ecological Reserve of the State Committee of the Republic of Belarus on the Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster for 2001–2010. Volume 1. Explanatory Note]. Gomel: [publisher unknown]; 2003. 194 p. Russian.
13. *Proekt organizacii i vedenija lesnogo hozjajstva U «Polesskij gosudarstvennyj radiacionno-jekologicheskij zapovednik» Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus' na 2013–2022 g.* [Project for the organization and management of forestry of the Polesie State Radiation and Ecological Reserve of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus for 2013–2022. Volume 1. Explanatory Note]. Gomel: [publisher unknown]; 2012. 262 p. Russian.
14. *Lesoustroitel'nyj proekt Gosudarstvennogo prirodoohrannogo nauchno-issledovatel'skogo uchrezhdenija «Polesskij gosudarstvennyj radiacionno-jekologicheskij zapovednik» Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus' na 2021–2030 gody* [Forest management project of the State Nature Conservation Research Institution «Polesie State Radiation and Ecological Reserve» of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus for 2021–2030. Explanatory Note]. Minsk: [publisher unknown]; 2020. 209 p. Russian.
15. Adamushko VI, et al. *Chernobyl'skaja katastrofa. 1986–1991. Dokumenty i materialy* [The Chernobyl Disaster. 1986–1991. Documents and materials]. Minsk: Institute of Radiology; 2011. 336 p. Russian.
16. Pokumeyko YM, Yaskelevich VN. *Radiacionnaja obstanovka na territorii Belorusskoj SSR* [Radiation situation on the territory of the Byelorussian SSR]. In: Ignatenko EU, editor. *Chernobyl 88. Reports of the All-Union Scientific and Technical conference on the results of the liquidation of the consequences of the catastrophe at the Chernobyl Nuclear Power Plant. Volume I. Radiation Situation.* Chernobyl: [publisher unknown]; 1989. 134–141. Russian.
17. *Koncepcija zony otchuzhdenija i otselenija* [Concept of the Exclusion and Evacuation Zone]. Minsk: State Committee for Overcoming the Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster; 1994. 94 p. Russian.
18. Tchaikovskiy AI, Kudin MV, Grummo DG, Maksimenkov MV, Ustin VV. *K voprosu o pridanii prirodoohrannogo statusa Polesskomu Gosudarstvennomu radiacionno-jekologicheskomu zapovedniku* [On the Issue of Granting Nature Conservation Status to the Polesie State Radiation and Ecological Reserve]. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences.* 2024;69(4):80–88. Russian. Doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-1-80-88.

Статья поступила в редколлегию 10.02.2026.
Received by editorial board 10.02.2026.

УДК 614.876:616-006.6-036(476)

РИСК ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ У ПЕРСОНАЛА ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Ю. В. ЧАЙКОВА¹⁾, И. В. ВЕЯЛКИН¹⁾

¹⁾Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
ул. Ильича, 290, 246040, г. Гомель, Беларусь

Степень и характер постоянного влияния радиационного фактора на организм во многом до сих пор остается невыясненным. Это является одним из главных препятствий в оптимизации мероприятий по медицинскому наблюдению персонала, занятого на территориях с высокой плотностью загрязнения. Проведен анализ риска злокачественных новообразований у работников Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, выполняющих работы на территориях радиоактивного загрязнения в зависимости от поглощенных доз ионизирующего излучения. Объект исследования – 1838 сотрудника заповедника (1592 мужчины и 246 женщин), занятых на различных должностях в 1989–2024 гг. Для оценки риска онкологических заболеваний у работников использовался метод непрямой стандартизации. Рассчитаны стандартизованные по возрасту, календарному времени, полу и месту жительства соотношения заболеваемости (SIR). В результате анализа не отмечено повышенного риска развития злокачественных новообразований у сотрудников. Доза-эффект зависимость между уровнем радиационного воздействия и риском злокачественных новообразований не наблюдалась. В то же время выявлен статистически значимо высокий риск в группе работников, у которых в истории наблюдалось превышение эффективной дозы внутреннего облучения 1 мЗв. В этой группе наблюдался высокий риск злокачественных новообразований пищеварительного тракта (SIR = 1,9(1,06–3,24)): пищевода (SIR = 13,8(1,67–49,88)), тонкого кишечника (SIR = 57,1(1,45–318,02)), ободочной кишки (в 2020–2024 гг.

Образец цитирования:

Чайкова ЮВ, Веялкин ИВ. Риск злокачественных новообразований в зависимости от поглощенной дозы у персонала Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;1:79–87.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-79-87>

For citation:

Chaikova YuV, Veyalkin IV. Risk of malignant neoplasms depending on the absorbed dose in the personnel of the Polesie state radiation-ecological reserve. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;1:79–87. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-79-87>

Авторы:

Юлия Вячеславовна Чайкова – научный сотрудник лаборатории эпидемиологии научного отдела.
Илья Владимирович Веялкин – кандидат биологических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории эпидемиологии научного отдела.

Authors:

Yulia V. Chaikova, researcher at the laboratory of epidemiology of the scientific department.
juli_gorbun@mai.ru
Ilya V. Veyalkin, PhD (biology), docent; leading researcher at the laboratory of epidemiology of the scientific department.
veyalkin@mail.ru

($SIR = 17,5(2,12-63,21)$)). Злокачественные новообразования почечной лоханки ($SIR = 20,5(2,48-73,95)$) и головного мозга ($SIR = 4,2(1,15-10,78)$) были отмечены у работников, которые участвовали в ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС. Высокий риск рака желудка и пищевода был отмечен у лиц со средней по времени работы среднегодовой эффективной дозы внешнего облучения выше 2,0 мЗв, у пациентов с высоким риском рака почечной лоханки доза была в диапазоне 1,0–1,99 мЗв. Таким образом, высокие риски злокачественных новообразований пищеварительной системы у работников могут быть связаны с фактором потребления загрязненных продуктов питания.

Ключевые слова: риск злокачественных новообразований; поглощенная доза; работа на загрязненных радионуклидами территориях.

RISK OF MALIGNANT NEOPLASMS DEPENDING ON THE ABSORBED DOSE IN THE PERSONNEL OF THE POLESIE STATE RADIATION-ECOLOGICAL RESERVE

Yu. V. CHAIKOVA^a, I. V. VEYALKIN^a

^aThe Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology,
290 Ilyicha Street, Gomel 246040, Belarus

Corresponding author: Yu. V. Chaikova (juli_gorbun@mai.ru)

The level and nature of the constant influence of radiation on the body remain unclear. In this regard, an analysis of cancer risk among employees of the Polesie State Radiation-Ecological Reserve was conducted. The aim of the study was to assess the risk of cancer among personnel of the Polesie State Radiation-Ecological Reserve working in radioactively contaminated areas, depending on the absorbed doses of ionising radiation. The study involved 1,838 employees (1,592 men and 246 women) engaged in various roles over the period from 1989 to 2024. The indirect standardisation method was used to assess the risk. Standardised by age, calendar period, sex, and place of residence incidence ratios (SIR) were calculated. The analysis did not indicate an increased risk of cancer among employees. No dose-response relationship was observed between the level of radiation exposure and the risk of malignant neoplasms. However, a statistically significant high risk was noted among employees with a history of exceeding an effective internal dose of 1 mSv. In this group, there was a high risk of gastrointestinal malignancies ($SIR = 1.9(1.06-3.24)$): oesophagus ($SIR = 13.8(1.67-49.88)$), small intestine ($SIR = 57.1(1.45-318.02)$), colon (in 2020–2024, $SIR = 17.5(2.12-63.21)$). A high risk of malignancies of the renal pelvis ($SIR = 20.5(2.48-73.95)$) and the brain ($SIR = 4.2(1.15-10.78)$) was also observed among workers who were liquidators of the consequences of the Chernobyl accident. A high risk of stomach and oesophageal cancer was observed in individuals with an average annual effective dose of external radiation exceeding 2.0 mSv, while patients at high risk of renal pelvis cancer had doses in the range of 1.0–1.99 mSv. Thus, it can be concluded that high risks for workers are noted for malignancies of the digestive system and may be associated with the consumption of contaminated food.

Keywords: cancer risk; absorbed dose; work in radionuclide-contaminated areas.

Введение

Известно, что одним из потенциальных факторов риска, приводящих к развитию злокачественных новообразований, является ионизирующее излучение [1]. В 1988 г. на загрязненной территории Брагинского, Хойникского и Наровлянского р-нов был организован Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ). Персонал ПГРЭЗ решает важные задачи, направленные на осуществление мероприятий по предотвращению переноса радионуклидов на прилегающие территории; контроль за изменением радиационной обстановки; радиационно-экологический мониторинг почвы, воздуха, воды, флоры и фауны; проведение радиобиологических исследований и опытно-экспериментальных работ с целью разработки технологий реабилитации загрязненных радионуклидами земель, оценки влияния радиоактивного загрязнения на животный и растительный мир и др. Вместе с тем в силу профессиональных особенностей сотрудники ПГРЭЗ подвергаются избыточным, по сравнению с населением, лучевым нагрузкам [2]. В связи с чем оценка отдаленных медицинских последствий, особенно онкологического характера, у сотрудников ПГРЭЗ является актуальной, особенно в разрезе поглощенных ими избыточных доз ионизирующего излучения.

В соответствии с существующим законодательством в области обеспечения радиационной безопасности в заповеднике с момента основания осуществляется учет, а также анализ доз профессионального облучения, получаемых отдельными группами персонала. В рамках обеспечения радиационной безопасности осуществляется контроль внутреннего облучения персонала ПГРЭЗ на спектрометре излучений

человека (СИЧ), а также индивидуальных доз внешнего облучения работников (ИДК). Как отмечено в статье Р. А. Ненашева и др., среди работников различных профессий максимальное медианное значение дозы внешнего облучения отмечено у работников отдела лесного хозяйства (1,1 мЗв/год) и наименьшее – у руководящих работников (0,8 мЗв/год) [3]. Следовательно, медианные значения годовой эффективной дозы невелики. Однако нельзя исключать индивидуальные особенности, которые могут существенно увеличивать величину дозы. Так, на величину дозы может влиять образ жизни, пол и возраст работника, а на величину накопленной дозы – стаж работы в условиях радиоактивного загрязнения и участие в ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС.

Необходимо отметить, что с течением времени после аварии на ЧАЭС в радиоактивно загрязненных районах существенно меняется радиологическая, социально-экономическая и демографическая обстановка. Изменяется соотношение доз внешнего и внутреннего облучений населения [4; 5]. Представленный комплекс динамичных факторов в совокупности определяет особенности дозоформирования человека на современном этапе после аварии на ЧАЭС и эффективность предпринимаемых мер по реабилитации населенных пунктов.

В связи с вышеизложенным, цель исследования – оценка риска онкологических заболеваний персонала ПГРЭЗ, выполняющего работы на территориях радиоактивного загрязнения в зависимости от поглощенных доз ионизирующего излучения.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились 1838 сотрудника заповедника (1592 мужчины и 246 женщин), занятых на различных должностях в период с 1989 по 2024 гг. Исходным материалом для данного исследования послужили данные Государственного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (Госрегистр), Государственного дозиметрического регистра, Белорусского республиканского канцер-регистра, анкеты, собранные в результате комплексного обследования сотрудников ПГРЭЗ и карточки учета индивидуальных доз облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений.

Для оценки риска онкологических заболеваний у работников ПГРЭЗ использовался метод непрямой стандартизации. Были рассчитаны стандартизованные по возрасту, календарному времени, полу и месту жительства соотношения заболеваемости (SIR), представленные отношением установленных случаев злокачественных новообразований к ожидаемому их количеству, рассчитанному на основании популяционных уровней заболеваемости. Анализ риска проводился в разрезе групп первичного учета (ГПУ), накопленных эффективных доз внешнего облучения (НВДО) за время работы и суммарно с НВДО, полученными в 1986–1987 гг. (НВДО+ЧАЭС), средних за время работы среднегодовых эффективных доз внешнего облучения (СГЭД), индивидуализированных поглощенных в щитовидной железе доз (ИДЩЖ) и красном костном мозге (ИДККМ), накопленных эффективных доз внутреннего облучения (ЭВДО). Статистическая оценка показателей проводилась с использованием 95 % доверительного интервала.

Результаты исследования и их обсуждение

За исследуемый период у сотрудников ПГРЭЗ было установлено 160 случаев злокачественных новообразований (ЗН), из них 142 – у мужчин и 18 – у женщин, при ожидаемом их значении 176,51 ($SIR = 0,9(0,77–1,06)$), что на 10 % ниже от популяционного уровня ($p > 0,05$). Все случаи ЗН были установлены после 2000 г., в связи с чем риски за 1989–1999 гг. были равны 0 несмотря на 14,3 ожидаемых чисел. Данный факт может свидетельствовать об эффекте «здоровых рабочих», когда на отдельные вредные работы привлекают потенциально здоровых лиц без хронических заболеваний.

Из 1838 сотрудников 1632 состояли на учете в Госрегистре. Из них 354 чел. (21,69 %) были участниками последствий катастрофы на ЧАЭС (ГПУ1), 46 чел. (2,82 %) эвакуированы из зоны отчуждения (ГПУ2), 292 чел. (17,89 %) являлись гражданами, постоянно проживающими в зонах первоочередного отселения и последующего отселения (ГПУ3), 57 чел. (3,49 %) рождены от лиц, отнесенных к ГПУ1-3 (ГПУ4), однако больше всего было лиц, проживающих в зоне периодического радиационного контроля (ГПУ5) – 883 чел. (54,11 %). Деление населения по ГПУ в целом можно рассматривать, как выделение групп повышенного радиационного риска, так как эти группы различаются по величине средней эффективной дозы (наибольшие дозы наблюдались в ГПУ1 и ГПУ2) и характеру облучения (доза у лиц из ГПУ2 и ГПУ1 формировалась за относительно короткий интервал времени, в то время как лица из ГПУ3 и ГПУ5 накапливали дозу в течение длительного периода), люди из ГПУ4 практически не были подвержены «чернобыльскому» облучению. В то же время люди из ГПУ1, ГПУ2 и ГПУ4 могли продолжать жить на загрязненной территории и накапливать дозу облучения, как лица из ГПУ3

и ГПУ5. Анализ по ГПУ показал, что за весь период наблюдения превышения риска ЗН в разрезе ГПУ не наблюдалось, однако в 2010–2014 гг. отмечался достоверно высокий риск развития ЗН у работников, которые были ликвидаторами (22 случая ЗН, $SIR = 1,6(1,02–2,46)$) (рис. 1). За весь период наблюдения у ликвидаторов, работников ПГРЭЗ, достоверно высокий риск отмечался для ЗН головного мозга (4 случая, $SIR = 4,2(1,15–10,78)$), рака почечной лоханки (2 случая, $SIR = 20,5(2,48–73,95)$), все случаи отмечались у ликвидаторов 1986 г., которые имели контакт с ^{137}Cs и ^{90}Sr . Доза внешнего облучения в 1986 г. у них была относительно небольшая (10 мЗв). При этом ликвидаторы с раком почечной лоханки в 1986 г. работали на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 40 Ки/км² и ^{90}Sr свыше 5 Ки/км² ($SIR = 80,1(9,7–289,22)$), стаж работы в заповеднике у них превышал 8 лет, при этом суммарная накопленная доза внешнего облучения превышала 20 мЗв. Работники же с ЗН головного мозга имели небольшой стаж работы в ПГРЭЗ. Превышение дозы внутреннего облучения ни у кого не наблюдалось. У лиц, которые проживали на территории с радиационным загрязнением (ГПУ3 и ГПУ5), отмечалось 2 случая рака тонкого кишечника ($SIR = 11,8(1,42–42,5)$). У потомков лиц, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС, из ГПУ4 было отмечено всего 2 случая, что недостаточно для оценки риска.

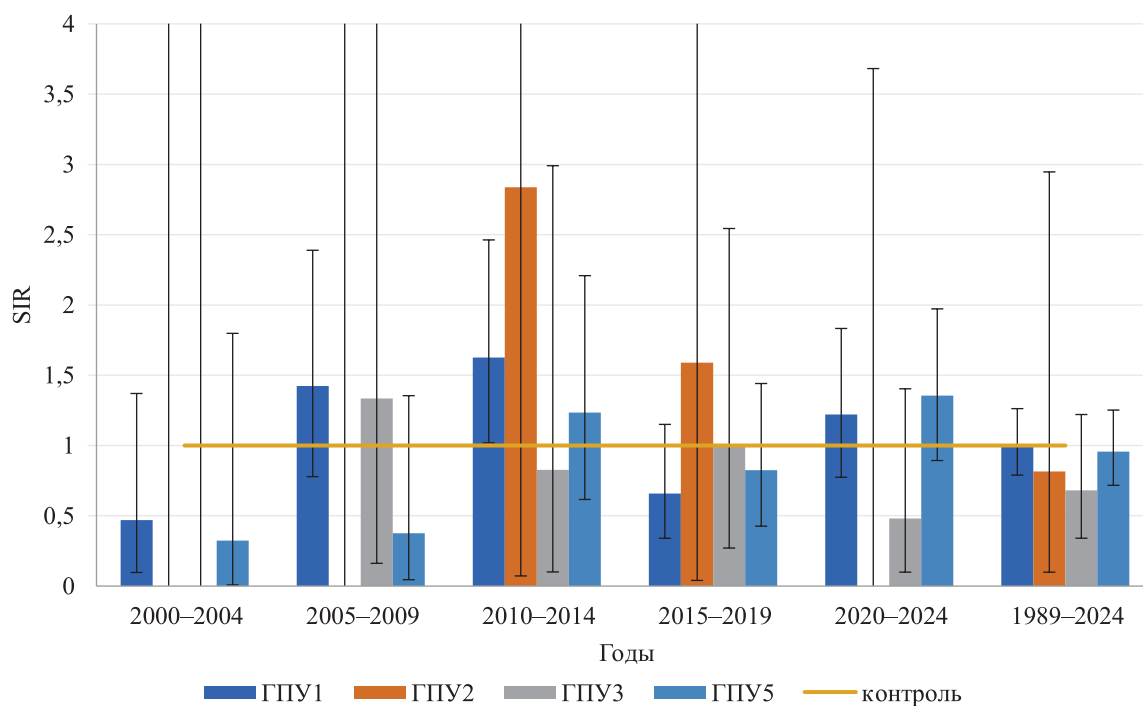


Рис. 1. Распределение SIR показателей у работников ПГРЭЗ в зависимости от ГПУ

Fig. 1. Distribution of SIR among PSRER employees by primary accounting groups

На рис. 2 и 3 приведено распределение SIR показателя в зависимости от нахождения на территориях с разной плотностью загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr в 1986 г. Как следует из рис. 2, 3, отсутствует корреляция между нахождением на территории с высокой плотностью загрязнения и риском. В то же время у лиц, работавших на территориях с плотностью ^{137}Cs свыше 40 Ки/км² и ^{90}Sr свыше 5 Ки/км², отмечался высокий риск рака почечной лоханки (2 случая, $SIR = 80,1(9,7–289,22)$), желчевыводящих путей (1 случай, $SIR = 64,7(1,64–360,39)$) и нижней части глотки (1 случай, $SIR = 48,4(1,23–269,69)$). Из 5 случаев рака пищевода 3 были отмечены у работников-ликвидаторов на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs 15,0–39,99 Ки/км² и ^{90}Sr свыше 2,0–4,99 Ки/км², ($SIR = 5,5(1,12–15,94)$). Из 8 случаев рака прямой кишки 2 были отмечены у работников ликвидаторов на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs 15,0–39,99 Ки/км² и ^{90}Sr свыше 1,0–1,99 Ки/км², ($SIR = 15,3(1,86–55,4)$).

Индивидуализированные эффективные поглощенные дозы облучения на красный костный и щитовидную железу были реконструированы только для работников, состоящих на учете в Госреестре. ИДККМ была рассчитана для 341 работника. Дозу свыше 300 мЗв не получил ни один сотрудник, ИДККМ свыше 100 мЗв была отмечена только у 7 % работников, 75 % работников имели величину ИДККМ до 50 мЗв. Как следует из рис. 4, не наблюдается ни значимой корреляции между SIR показателем и ИДККМ, ни значимого превышения риска. В то же время достоверно высокий риск отмечался для рака почечной лоханки у людей с ИДККМ 150,0–299,99 мЗв ($SIR = 332,0(8,4–1849,6)$). Среди работников с реконструированной ИДККМ было отмечено только 2 случая лейкоза, поэтому определить корреляционную связь не пред-

ставляется возможным. В то же время 1 случай лимфолейкоза был отмечен в 2015–2019 гг. у мужчины с ИДККМ 150,0–299,99 мЗв ($SIR = 136,6(3,46-761,1)$).

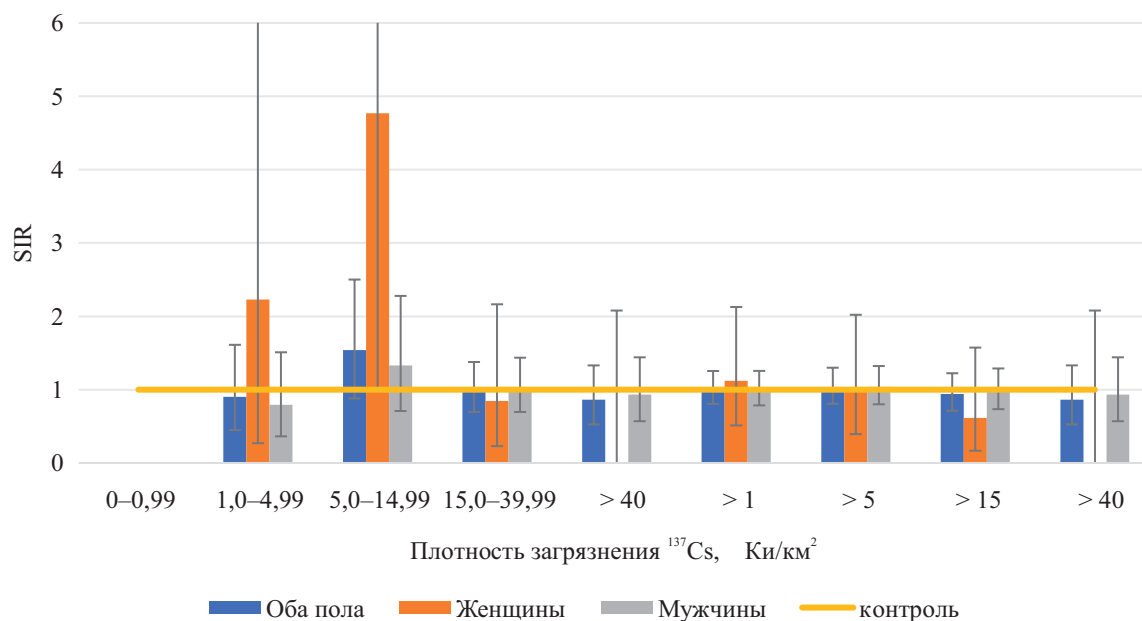


Рис. 2. Распределение SIR показателей у работников ПГРЭЗ в зависимости от нахождения на территории с разной плотностью загрязнения ^{137}Cs в 1986–1989 гг.

Fig. 2. Distribution of SIR among SPRER workers depending on their presence in areas with different levels of ^{137}Cs contamination in 1986–1989

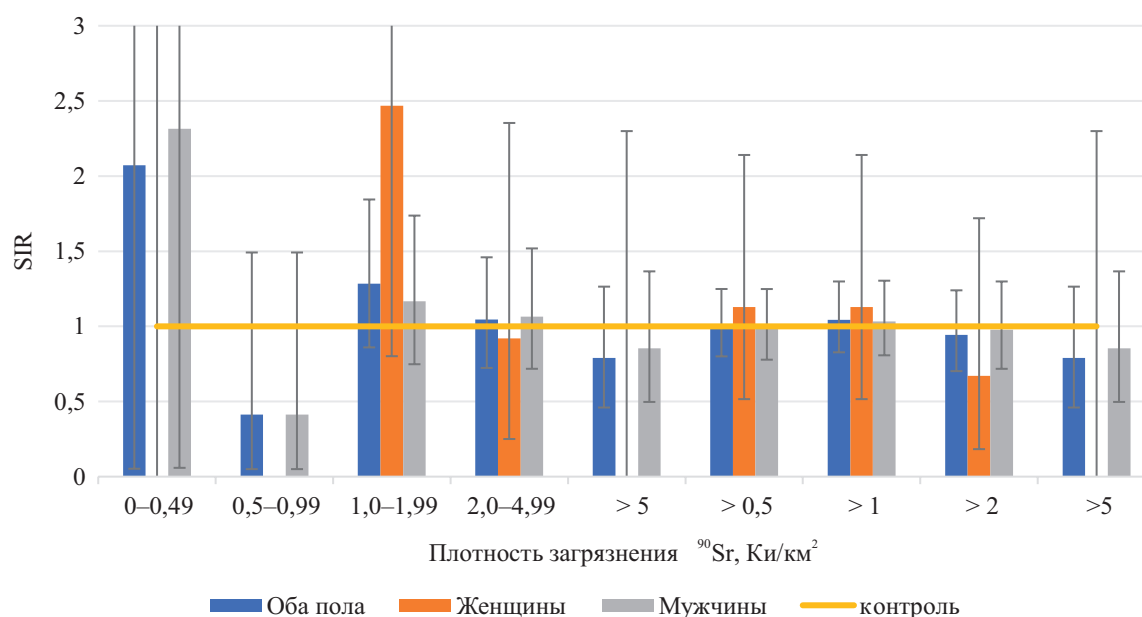


Рис. 3. Распределение SIR показателей у работников ПГРЭЗ в зависимости от нахождения на территории с разной плотностью загрязнения ^{90}Sr в 1986–1989 гг.

Fig. 3. Distribution of SIR among SPRER workers depending on their presence in areas with different levels of ^{90}Sr contamination in 1986–1989

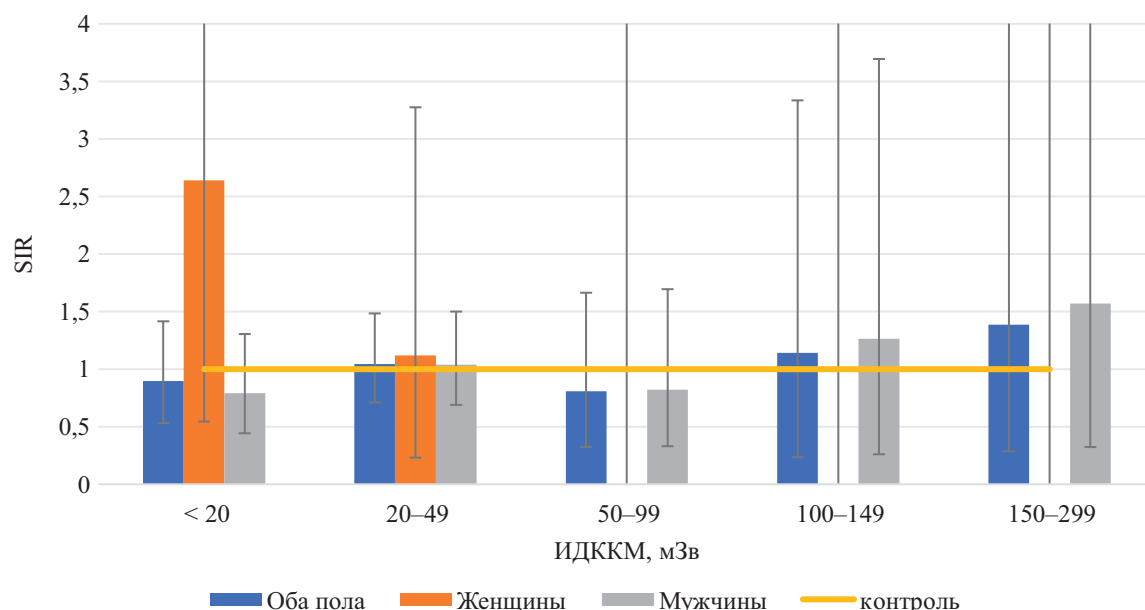


Рис. 4. Распределение SIR показателей у работников ПГРЭЗ в зависимости от ИДККМ

Fig. 4. Distribution of SIR among SPRER workers depending on their individualized red bone marrow doses

У лиц, для которых была рассчитана ИДЩЖ (344 чел.) не было отмечено ни одного случая рака щитовидной железы. Среди них ИДЩЖ свыше 1 Гр была отмечена у 36 %, а свыше 5 Гр только у 1 %.

НВДО за время работы в заповеднике медианное значение было 12,6[5,76;21,66] мЗв (максимальное значение 41,1 мЗв), при медиане СГЭД 1,5[1,28;1,73] мЗв. Наиболее высокие значения отмечались у работников леса (26,0[15,38;32,31] мЗв), спасателей-пожарных (25,8 [20,2;30,92] мЗв) и водителей (22,6 [14,18;28,37] мЗв), минимальные значения у работников АУП (6,4 [0,41;22,7] мЗв). Анализ между группами меньше 20 мЗв и больше не выявил достоверных различий (рис. 5).

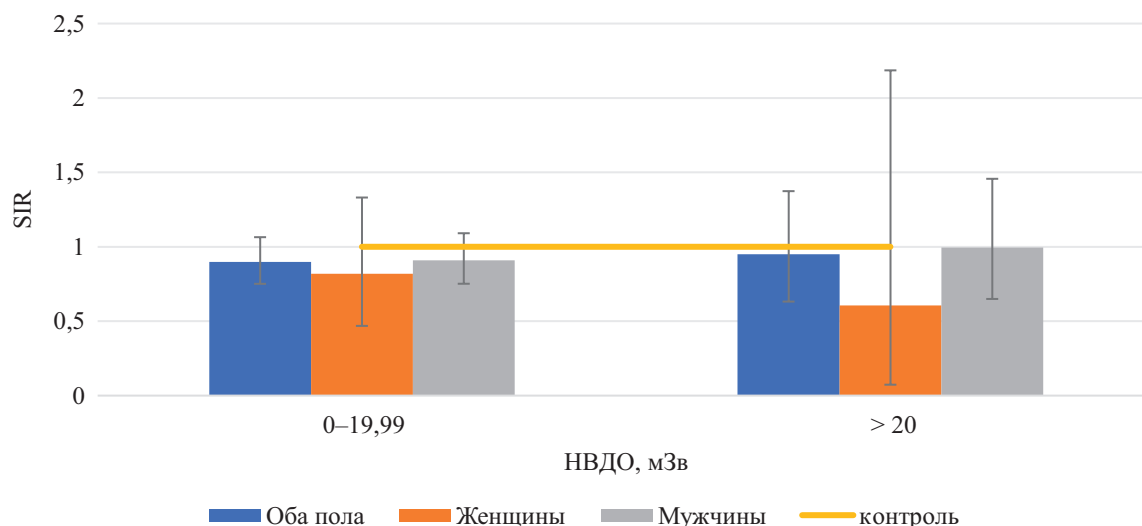


Рис. 5. Распределение SIR показателей у работников ПГРЭЗ в зависимости от накопленной внешней эффективной дозы облучения

Fig. 5. Distribution of SIR among SPRER workers depending on their accumulated external doses

У сотрудников с высоким риском рака почки (3 случая, SIR = 5,3 (1,09–15,43)) и почечной лоханки (1 случай, SIR = 94,3(2,39–525,52)) НВДО была выше 20 мЗв. При этом необходимо отметить, что НВДО коррелировала со стажем работы, в связи с чем результаты примерно соответствуют для работников с большим стажем. У 477 работников кроме НВДО была отмечена и накопленная в период с 1986–1989 гг. эффективная доза внешнего облучения. Медианное значение НВДО+ЧАЭС было 24,5 [15,91;38,83] мЗв, только 10 % работников имели дозу свыше 50 мЗв. При анализе связи риска ЗН с НВДО+ЧАЭС не было

отмечено ни корреляции, ни статистически значимого превышения (рис. 6). У одного работника заповедника с высоким риском рака неба суммарная НВДО была выше 50 мЗв ($SIR = 41,7(1,05-232,14)$). У лиц, получивших НВДО+ЧАЭС в диапазоне 20,0–49,99 мЗв, достоверный риск был отмечен для рака почечной лоханки ($SIR = 37,7(4,57-136,23)$), яичника ($SIR = 12,0(1,45-43,4)$) и ЗН головного мозга ($SIR = 5,4(1,11-15,7)$).

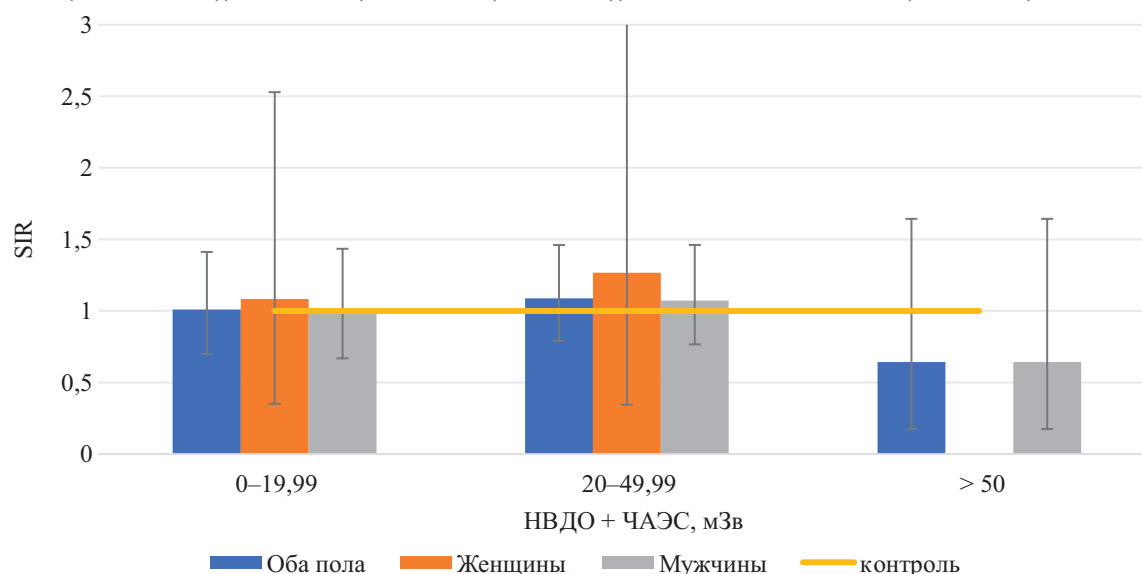


Рис. 6. Распределение SIR показателей у работников ППРЭЗ в зависимости от суммарной накопленной внешней эффективной дозы облучения (НВДО + ЧАЭС)

Fig. 6. Distribution of SIR among SPRER workers depending on their accumulated external doses plus «Chernobyl» accumulated dose

С течением времени вклад дозы внутреннего облучения в суммарную среднегодовую дозу растет. Измерить реально полученную человеком дозу внутреннего облучения достаточно сложная задача, поскольку измерения, проводимые на СИЧ, носят периодический характер, и за время перерыва между измерениями реальные дозы могут значительно варьировать. Медианное значение ЭДВО у работников было 0,08[0;0,3] мЗв, максимальное – у работников леса (0,22[0;0,86] мЗв). При этом у 15 % из 948 работников отмечалось хоть раз превышение ЭДВО величины в 1 мЗв, максимальное значение было 3,9 мЗв. На рис. 7 приведено распределение SIR показателей у работников ППРЭЗ в зависимости от наличия факта превышения ЭДВО величины в 1 мЗв. Для лиц, у которых в истории наблюдается превышение ЭДВО, отмечается достоверно высокий риск развития ЗН только у мужчин (13 случаев, $SIR = 2,0(1,08-3,46)$).

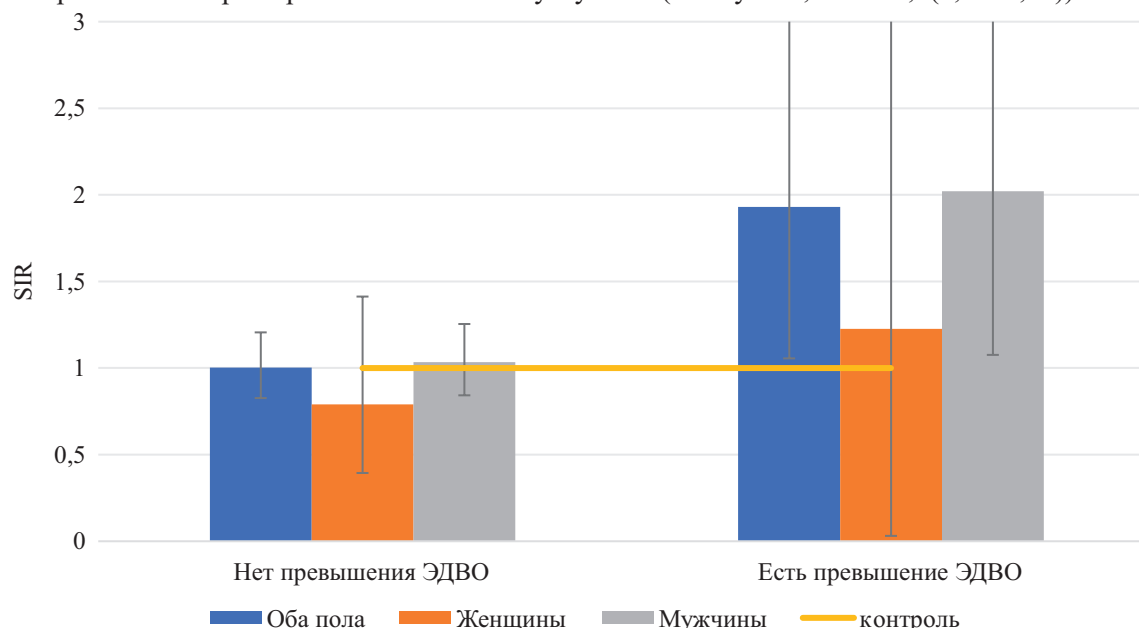


Рис. 7. Распределение SIR показателей у работников ППРЭЗ в зависимости от ЭДВО

Fig. 7. Distribution of SIR among SPRER workers depending on their effective internal doses

Анализ по локализациям показал, что это происходит за счет вклада ЗН пищеварительного тракта (пищевода ($SIR = 13,8(1,67-49,88)$), тонкого кишечника ($SIR = 57,1(1,45-318,02)$), ободочной кишки (2 случая в 2020–2024 гг. ($SIR = 17,5(2,12-63,21)$))) и кожи (3 случая, $SIR = 5,2(1,07-15,14)$). Более детальное исследование этих пациентов показало у них неоднократное превышение ЭДВО. Сама по себе величина ЭДВО выше 1 мЗв не является достаточно большой для развития серьезных повреждений в клетках, однако может свидетельствовать о низкой культуре поведения в условиях радиационной опасности.

Среднегодовая эффективная доза внешнего облучения за время работы в заповеднике имела медианное значение 1,15[0,88;1,63] мЗв (максимальное значение 13,4 мЗв). Наиболее высокие значения СГЭД отмечались у работников леса (1,23[0,93;1,78] мЗв), а минимальные у работников АУП (1,03[0,82;1,46] мЗв) и рабочих (1,08[0,85;1,48] мЗв). В то же время у 28,8 % сотрудников средние значения СГЭД не превышали величину в 1 мЗв, и только у 5,1 % были выше 2 мЗв. Анализ между группами показал, что риск незначимо выше у лиц, которые имели среднегодовую внешнюю эффективную дозу свыше 2,0 мЗв, однако в целом статистически значимого превышения риска не отмечено (рис. 8). Высокий риск рака желудка (4 случая, $SIR = 4,1(1,12-10,55)$) и пищевода (3 случая, $SIR = 11,9(2,45-34,67)$) был отмечен у лиц со средней СГЭД выше 2,0 мЗв, у пациентов с высоким риском рака почечной лоханки (2 случая, $SIR = 12,7(1,53-45,76)$) средняя СГЭД была в диапазоне 1,0–1,99 мЗв.

Таким образом, можно заключить, что высокие риски у работников ППРЭЗ отмечаются для ЗН пищеварительной системы и могут быть связаны с фактором неосторожного потребления загрязненных продуктов питания. Схожий результат был отмечен в статье С. В. Жаворонка и др. [6]

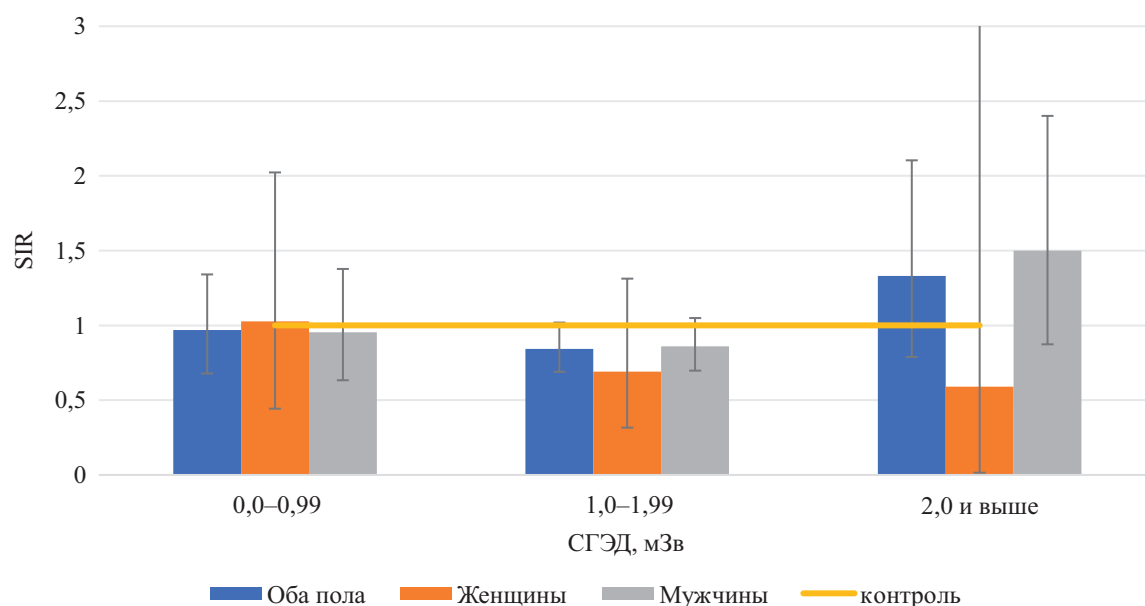


Рис. 8. Распределение SIR показателей у работников ППРЭЗ в зависимости от СГЭД облучения

Fig. 8. Distribution of SIR among SPRER workers depending on their average annual effective dose

Заключение

Проведенный анализ не отметил повышенного риска развития злокачественных новообразований у сотрудников ППРЭЗ. Доза-эффект зависимость между уровнем радиационного воздействия и риском ЗН не наблюдалась. В то же время отмечался статистически значимо высокий риск в группе работников, у которых в истории наблюдалось превышение эффективной дозы внутреннего облучения 1 мЗв. В этой группе наблюдался высокий риск ЗН пищеварительного тракта (14 случаев, $SIR = 1,9(1,06-3,24)$): пищевода (2 случая, $SIR = 13,8(1,67-49,88)$), тонкого кишечника (1 случай, $SIR = 57,1(1,45-318,02)$), ободочной кишки (2 случая в 2020–2024 гг. ($SIR = 17,5(2,12-63,21)$)). Высокий риск ЗН почечной лоханки (2 случая, $SIR = 20,5(2,48-73,95)$) и головного мозга (4 случая, $SIR = 4,2(1,15-10,78)$) был отмечен у работников, которые были участниками ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС. Высокий риск рака желудка и пищевода был отмечен у лиц со средней СГЭД выше 2,0 мЗв, у пациентов с высоким риском рака почечной лоханки средняя СГЭД была в диапазоне 1,0–1,99 мЗв. Таким образом, высокие риски у работников ППРЭЗ отмечаются для ЗН пищеварительной системы и могут быть с фактором потребления загрязненных продуктов питания.

Библиографические ссылки

1. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100. A Review of Human Carcinogens. Part D: Radiation. Lyon: IARC; 2012.
2. Веялкин ИВ, Чайкова ЮВ, Никонович СН и др. Оценка рисков для здоровья у работников Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности*. 2020;1:59–65.
3. Ненашев РА, Шабалева МА, Деменковец НН. Изучение годовых эффективных доз облучения персонала Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. *Проблемы здоровья и экологии*. 2025;1:94–101.
4. Романович ИК, Брук ГЯ, Барковский АН и др. Обоснование концепции перехода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения. *Радиационная гигиена*. 2016;1:6–18.
5. Панов АВ. Возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальной жизнедеятельности: современные проблемы и пути решения (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС). *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2021;1:5–13.
6. Жаворонок СВ, Калинин ЛА, Платошкин ЭН, и др. Некоторые аспекты оценки состояния органов пищеварения у работников Полесского государственного радиационного экологического заповедника. *Проблемы здоровья и экологии*. 2004;2:16–22.

References

1. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100. A Review of Human Carcinogens. Part D: Radiation. Lyon: IARC; 2012.
2. Vejal'kin IV, Chajkova JuV, Nikonovich SN i dr. *Ocenka riskov dlja zdorov'ja u rabotnikov Polesskogo gosudarstvennogo radiacionno-jekologicheskogo zapovednika* [Health risk assessment for employees of the Polesky State Radiation-Ecological Reserve]. *Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2020;1:59–65. Russian.
3. Nenashev RA, Shabaleva MA, Demenkovec NN. *Izuchenie godovyh effektivnyh doz obluchenija personala Polesskogo gosudarstvennogo radiacionno-ekologicheskogo zapovednika* [Study of annual effective radiation doses of Polesie State Radiation and Ecological Reserve staff]. *Health and Ecology Issues*. 2025;1:94–101. Russian.
4. Romanovich IK, Bruk GJa, Barkovskij AN, et al. *Obosnovanie koncepcii perehoda naseleennyh punktov, otnesennyh v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoj AJeS k zonom radioaktivnogo zagrjaznenija, k uslovijam normal'noj zhiznedejatel'nosti naselenija* [Substantiation of the concept of transfer to conditions of normal population activity of the settlements considered to be zones of radioactive contamination after the Chernobyl NPP accident]. *Radiation Hygiene*. 2016;1:6–18. Russian.
5. Panov AV. *Vozvrashhenie radioaktivno zagrjaznennyh territorij k normal'noj zhiznedejatel'nosti: sovremennye problemy i puti reshenija (k 35-letiju avarii na Chernobyl'skoj AJeS)* [Returning radioactively contaminated territories to normal life: current problems and ways for solution (35 years after the Chernobyl NPP accident)]. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2021;1:5–13. Russian.
6. Zhavoronok SV, Kalinin LA, Platoshkin JeN, et al. *Nekotorye aspekty ocenki sostojanija organov pishhevarenija u rabotnikov Polesskogo gosudarstvennogo radiacionnogo jekologicheskogo zapovednika* [Aspects of digestive apparatus state in Polesie State Radioecological Reserve personnel]. *Health and Ecology Issues*. 2004;2:16–22. Russian.

Статья поступила в редколлегию 02.03.2026.
Received by editorial board 02.03.2026.

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 338.054.23

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н. Н. ЦЫБУЛЬКО¹⁾, Е. В. ШМЕЛЕВА²⁾

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

²⁾Департамент по ядерной и радиационной безопасности
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,
ул. Берсона, 16, 220030, г. Минск, Беларусь

Приведена методология и комплексная оценка социально-экономического ущерба, нанесенного Республике Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Методика расчета ущерба предусматривала использование системы показателей, базирующаяся на детальном учете значительного количества первичных факторов, предопределяющих величину экономических и социальных потерь от радиоактивного загрязнения территории. При необходимости первичные параметры исследуемых факторов, полученные в натуральном измерении, преобразовывались с помощью соответствующих количественных зависимостей в стоимостные показатели. Комплексная оценка, проведенная по приведенной методике, показала, что суммарный ущерб, нанесенный Республике Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС (в расчете за 1986–2015 гг.) составил 235 млрд долл.

Образец цитирования:

Цыбулько НН, Шмелева ЕВ. Социально-экономические последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС для Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;1:88–98.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-88-98>

For citation:

Tsybulka MM, Shmeleva EV. Socio-economic consequences of the Chernobyl nuclear power plant disaster for the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;1:88–98. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-88-98>

Авторы:

Николай Николаевич Цыбулько – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; начальник научно-исследовательского сектора.

Екатерина Владимировна Шмелева – начальник управления по обращению с радиоактивными отходами и объектами ядерного наследия.

Authors:

Mikalai M. Tsybulka, doctor of science (agriculture), full professor; head of the research sector.

nik.nik1966@tut.by

Ekaterina V. Shmeleva, head of the department for radioactive waste management and security facilities.
shmeleva@gosatombnadzor.gov.by

В структуре общего ущерба наибольший удельный вес (81,6 %) занимали дополнительные затраты на ликвидацию последствий аварии, составившие 191,7 млрд долл. На долю прямых и косвенных потерь приходилось около 30,0 млрд долл., или 12,6 %, упущенной выгоды занимали 13,7 млрд долл., или около 6 %. Из отраслей реального сектора экономики наиболее пострадало сельское хозяйство. В результате аварии радиоактивному загрязнению подверглось 1866 тыс. га сельскохозяйственных земель. Из оборота выведено 264,5 тыс. га земель. В составе общего ущерба, нанесенного катастрофой на Чернобыльской АЭС, особое место занимает оценка урона, связанного с изменением состояния здоровья людей. Расчеты показали, что ущерб здоровью людей от аварийной дозы облучения равен 288,8 млн долл., от ожидаемой дозы облучения в течение 1986–1990 гг. – 64,4 млн долл., а за весь рассматриваемый период (1986–2015 гг.) – 177,5 млн долл.

Ключевые слова: катастрофа; радиоактивное загрязнение; последствия; ущерб; оценка.

SOCIO-ECONOMIC CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT DISASTER FOR THE REPUBLIC OF BELARUS

M. M. TSYBULKA^a, E. V. SHMELEVA^b

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

^b*Department for nuclear and radiation safety, the Ministry for Emergency situations of the Republic of Belarus,
16 Bersana Street, Minsk 220030, Belarus*

Corresponding author: M. M. Tsybulka (nik.nik1966@tut.by)

The article presents a methodology and a comprehensive assessment of the socio-economic damage caused to the Republic of Belarus as a result of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant. The damage calculation method included the use of a system of indicators based on a detailed accounting of a significant number of primary factors that predetermine the magnitude of economic and social losses from radioactive contamination of the territory. Where necessary, the primary parameters of the studied factors, obtained in kind, were converted into cost indicators using the appropriate quantitative dependencies. A comprehensive assessment conducted using the presented methodology showed that the total damage caused to the Republic of Belarus as a result of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant, calculated for the period from 1986 to 2015, amounted to USD 235 billion. In the structure of the total damage, the largest share (81.6 %) was accounted for by additional costs of eliminating the consequences of the accident, which amounted to USD 191.7 billion. Direct and indirect losses amounted to approximately USD 30.0 billion, or 12.6 %, while lost profits amounted to USD 13.7 billion, or approximately 6 %. Agriculture suffered the most in the real economy. As a result of the accident, 1,866 thousand hectares of agricultural land were exposed to radioactive contamination. 264,500 hectares of land were withdrawn from circulation. Among the total damage caused by the Chernobyl disaster, a special place is occupied by the assessment of damage associated with changes in human health. Calculations have shown that damage to human health from the emergency radiation dose is equal to USD 288.8 million, from the expected radiation dose during 1986–1990 – USD 64.4 million, and for the entire period under review (1986–2015) – USD 177.5 million.

Keywords: disaster; radioactive contamination; consequences; damage; assessment.

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС произошел крупный выброс радиоактивных веществ, их атмосферный перенос и радиоактивное загрязнение обширных территорий. В 1990 г. МАГАТЭ разработана Международная шкала ядерных событий (International Nuclear Event Scale – INES) для оценки событий, связанных с аварийными радиационными выбросами в окружающую среду на атомных станциях и иных установках промышленного, научного и других видов использования ядерной энергии в мирных целях, которые могут привести или привели к радиоэкологическим бедствиям [1]. Согласно данной шкале, авария на Чернобыльской АЭС классифицируется как крупная авария и относится к высшему 7-му уровню. При событиях 7-го уровня «наблюдается крупный выброс радиоактивного материала, содержащего смесь коротко- и долгоживущих радионуклидов, соответствующего количеству радиоактивности, эквивалентному выбросу в атмосферу нескольких десятков тысяч ТБк ¹³¹I, с обширными последствиями для здоровья и окружающей среды. Возможны проявления детерминированных эффектов для здоровья, долгосрочные экологические последствия, что потребует проведения защитных мер, таких как укрытие и эвакуация».

Одним из наиболее тяжелых последствий аварии стало радиоактивное загрязнение обширных территорий. За пределами 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС основную проблему с точки зрения

загрязнения объектов природной среды первые два месяца представлял ^{131}I . В дальнейшем основными радионуклидами, определяющими радиационную ситуацию, стали ^{134}Cs , ^{137}Cs и ^{90}Sr [2; 3].

Методология оценки социально-экономического ущерба. Авария на Чернобыльской АЭС по масштабам радиоактивного загрязнения охватила большие территории, оказав негативное воздействие практически на все сферы жизнедеятельности. Это привело к отселению жителей из загрязненных радионуклидами населенных пунктов с прекращением деятельности промышленных предприятий и объектов социальной сферы, исключению из общественного потребления природных ресурсов, изъятию из сельскохозяйственного оборота сельскохозяйственных земель, сокращению использования лесных, минерально-сырьевых и других ресурсов, изменению условий функционирования объектов производственного и социального назначения на загрязненных территориях.

Наряду с прямыми потерями, большие дополнительные затраты приходились непосредственно на ликвидацию последствий аварии – расходы на переселение людей, перебазирование производств, перепрофилирование предприятий промышленности, сельского хозяйства и других отраслей, затраты по обеспечению жизнедеятельности и социальной защите населения, проживающего в условиях радиоактивного загрязнения. Экономические последствия аварии связаны и с решением проблем медицинского, социально-психологического и экологического характера.

Основополагающим методологическим принципом, принятым за основу оценки социально-экономического ущерба от катастрофы, являлась комплексность – максимально полный охват всех его составляющих. Методика расчета ущерба, разработанная научными учреждениями совместно с министерствами, ведомствами и организациями республики, предусматривала использование системы показателей, базирующаяся на детальном учете максимально возможного числа первичных факторов, предопределяющих величину экономических и социальных потерь от радиоактивного загрязнения территории. При необходимости первичные параметры исследуемых факторов, полученные в натуральном измерении, преобразовывались (с помощью соответствующих количественных зависимостей) стоимостные показатели [4; 5].

На первом этапе был изучен комплекс факторов в рамках отдельных структурных отраслевых единиц с выделением 154 расчетных соотношений. Проведен учет фактических потерь за прошедший период и дана оценка предполагаемых потерь за весь период (с 1986 по 2015 г.). Расчеты проводили в разрезе отдельных отраслей и объектов хозяйственного комплекса, имеющих количественные характеристики, которые можно было определить в стоимостном выражении. Утрата (снижение) количественных характеристик были приняты в качестве потерь (затрат) первого уровня (первоисточник), имеющих непосредственную причинно-следственную связь с неблагоприятным воздействием радиоактивного загрязнения. Выделенные на основе проведенного анализа первичные потери (затраты) были разбиты на группы (табл. 1).

Для определения величины экономического ущерба все первичные потери распределены на 3 вида: прямые и косвенные потери от загрязнения радионуклидами; упущенная выгода от прекращения или сокращения масштабов хозяйственной деятельности, снижения производительности труда; дополнительные затраты, связанные с обеспечением жизнедеятельности на загрязненных территориях и проведением мероприятий по ликвидации последствий катастрофы.

Под прямыми потерями понимаются все выведенные из использования в результате радиоактивного загрязнения элементы национального богатства: основные и оборотные производственные фонды, объекты социальной инфраструктуры и жилье, материальные компоненты природных ресурсов (минерально-сырьевые, лесные, земельные и водные).

К косвенным отнесены потери, вызванные нарушением или прекращением производства. Они отражают влияние радиоэкологических и социальных факторов (уровень радиационного загрязнения, условия проживания и состояния здоровья населения) на функционирование (ограничение) хозяйственных и других объектов государственной, частной и личной собственности, находящейся на загрязненной территории, на производительность труда работников, занятых в промышленности, сельском хозяйстве и социальной сфере, потери от усиления миграции населения из загрязненных районов.

Упущенная выгода представляет собой недополученный экономический эффект, обусловленный вынужденным недоиспользованием или изменением характера использования ресурсов (материальных, трудовых, финансовых, природных), структурными сдвигами. Ее составляющими, выраженными в стоимостной форме, являются сокращение объемов выпуска продукции, работ и услуг на загрязненных территориях, стоимость бракованной продукции, дополнительные затраты на восполнение недополученной и забракованной продукции, затраты на восстановление утраченного качества продукции, потери от расторжения контрактов, аннулирования проектов, замораживания кредитов, выплаты штрафов, неустоек и др.

Таблица 1

Группы показателей (критериев) оценки потерь и затрат первого уровня
в условиях неблагоприятного воздействия радиоактивного загрязнения

Table 1

Groups of indicators (criteria) for assessing losses and the first level of costs
under conditions of adverse effects of radiation contamination

Группы	Содержание показателей группы	Показатели
<i>Потери</i>		
Экономическая группа	Связана с ущербом (материальным и нематериальным) в секторах экономики	– потери от неиспользования основных фондов и выбытие основных средств, остающихся в зонах отчуждения и отселения; оставшихся в зоне отчуждения; – потери от уничтожения готовой продукции и от сокращения объемов ее реализации; безвозвратные потери товарно-материальных ценностей; – потери от изменения характера использования земель и снижения продуктивности животных
Природно-биологическая группа	Связана с изменением функциональных и иных свойств природных объектов и последующим их использованием в экономике	потери земельных ресурсов, древесных и недревесных ресурсов леса; средозащитных функций леса (водозащитные, защитные, рекреации, климаторегулирующие); минерально-сырьевых ресурсов; потери водных ресурсов
Социальные	Характеризует фактические и потенциальные потери	ущерб здоровью людей (от радиоактивного воздействия на население; от сложившейся стрессовой ситуации), риски ухудшения здоровья людей и будущему поколению
<i>Затраты</i>		
Ликвидационная группа	Отражает систему мер и мероприятий по ликвидации очагов радиоактивного загрязнения	затраты на проведение дезактивации, полную или частичную замену кровли жилых и общественных зданий; затраты на дополнительное устройство дорог и тротуаров; затраты на проведение работ по пылеподавлению; затраты по консервации фондов; затраты на устройство и эксплуатацию пунктов захоронения отходов дезактивации; затраты на транспортировку продуктов дезактивации
Управленческая группа	Связана с проведением контроля и мониторинга за объектами окружающей среды	затраты на мероприятия, связанные с контролем и мониторингом
Инфраструктурная группа	Позволяет оценить содержательность мер, направленных на совершенствование инфраструктурного развития	затраты на демонтажно-монтажные работы при эвакуации; дополнительные затраты на эвакуацию фондов и их монтаж на новом месте; затраты на развитие базы строительного комплекса и функционирование населенных пунктов на загрязненных территориях
Социальная группа: миграция и благоустройство	Отражает перечень затрат, связанных с созданием благоприятных условий проживания для переселенцев	затраты, связанные с переселением населения из наиболее загрязненных районов: жилищно-гражданское строительство в пунктах переселения; создание рабочих мест; выплата компенсаций за утраченное имущество и на переезд
Социальная группа: обеспечение	Характеризует особенности реализации Закона Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС»	бюджет на социальные выплаты по защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС
Социальная группа: компенсации	Характеризуют перечень мер, связанных с возможным ухудшением здоровья населения и его поддержанием	компенсации, льготы, медицинская помощь
Производственно-экономическая группа	Характеризует комплекс мер, требующихся для сохранения природных ресурсов и производства экологически чистой продукции	дополнительные затраты на проведение агрохимических, агротехнических и мелиоративных мероприятий на сельскохозяйственных землях

Дополнительные затраты – расходы по ликвидации или минимизации последствий катастрофы и обеспечению нормального функционирования отраслей экономики и социальной сферы на территории радиоактивного загрязнения, включая создание безопасных условий жизнедеятельности. К ним также относятся расходы по компенсации негативных факторов воздействия на людей, стоимость дополнительных ресурсов, привлекаемых для компенсации потерь и упущенной выгоды, затраты на работы по дезактивации территорий и объектов, организации радиационного контроля и мониторинга за радиационной обстановкой.

Для расчета общей суммы экономического ущерба был принят 30-летний период, в пределах которого практически возможно научно обоснованное определение потерь и затрат. В его пределах произведена оценка фактического ущерба за прошедший период, а также планируемых, прогнозируемых и предполагаемых потерь за период до 2015 г. Расчеты фактического ущерба за прошлый период осуществлялись в ценах соответствующих лет, а прогнозируемого ущерба на перспективу – в ценах на 01.01.92. Для перевода цен прошлых лет в действующие цены 1992 г. использовали индексы цен Государственного комитета по статистике Республики Беларусь (в настоящее время Национальный статистический комитет Республики Беларусь). Для оценки ущерба в долларовом исчислении использовали спецкурс валют Национального банка Республики Беларусь на 01.06.92, равный 25 руб. за 1 долл. США.

Комплексная оценка социально-экономического ущерба. Согласно расчетам, проведенным по изложенной выше методике, суммарный ущерб, нанесенный Республике Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, за период с 1986 по 2015 г. в ценах на 01.06.92 составил 5871,8 млрд руб. (по спецкурсу валют Национального банка Беларуси, 235 млрд долл.) [2; 3; 6]. Это равно почти 32 бюджетам республики 1985 г. и примерно 21 бюджету 1991 г. Ущерб за период 1986–1990 гг. равен 29 млрд долл., что составляет более 17,2 % национального дохода Республики Беларусь за этот же период и в 1,7 раза больше бюджета 1991 г. (табл. 2).

Таблица 2

Экономический ущерб, нанесенный Республике Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС

Table 2

Economic damage to the Republic of Belarus as a result of the Chernobyl nuclear power plant disaster

Периоды	Виды ущерба			Итого ущерба
	прямые и косвенные потери	упущенная выгода	дополнительные за- траты	
Суммарный экономический ущерб (млрд долл.)				
1986–1990	14,3	1,4	13,3	29,0
1991–1995	5,0	2,0	43,0	50,0
1996–2000	7,3	2,9	50,8	61,0
2001–2015	3,0	7,4	84,6	95,0
Итого	29,6	13,7	191,7	235,0
Ущерб сельскохозяйственному производству (млрд долл.)				
1986–1990	8,6	0,8	7,8	17,2
1991–1995	3,1	1,3	15,0	19,4
1996–2000	6,3	2,2	6,5	15,0
2001–2015	0,5	6,4	10,7	17,6
Итого	18,5	10,7	40,0	69,2
Ущерб лесному хозяйству (млн долл.)				
1986–1990	545,4	11,6	19,0	576,0
1991–1995	591,0	13,0	77,0	681,0
1996–2000	600,0	13,5	93,5	707,0
2001–2015	1834,0	38,4	279,2	2151,6
Итого	3570,4	76,5	468,7	4115,6

В структуре общего ущерба за период с 1986 по 2015 гг. наибольший удельный вес (81,6 %) занимают дополнительные затраты на ликвидацию последствий аварии. В ценах на 01.06.92 они составят 4791,5 млрд руб., или 191,7 млрд долл. На долю прямых и косвенных потерь приходится около 30,0 млрд долл., или 12,6 %, упущенной выгоды – 13,7 млрд долл., или около 6 % (рис. 1).



Рис. 1. Структура ущерба, нанесенного Республике Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС за период с 1986 по 2015 г. (млрд долл.)

Fig. 1. Structure of damage caused to the Republic of Belarus as a result of the Chernobyl nuclear power plant disaster from 1986 to 2015 (USD billion)

Из всех отраслей народного хозяйства наиболее пострадало сельское хозяйство. В результате аварии радиоактивному загрязнению подверглось 56 районов Беларуси, или 48 % их общего количества. В функционирующих на тот момент колхозах и совхозах этих районов оказалось 1866 тыс. га сельскохозяйственных земель, уровень загрязнения радионуклидами которых превысил 1 Ки/км² (37 кБк/м²), в том числе 1725 тыс. га с уровнем загрязнения до 15 Ки/км² (до 555 кБк/м²) и 141 тыс. га – от 15 до 40 Ки/км² (от 555 до 1480 кБк/м²) и выше. В результате из сельскохозяйственного оборота выведено 264,5 тыс. га земель, из них 84,1 тыс. га пахотных. В соответствии с программой отселения населения предусматривалось дополнительное изъятие земель из сельскохозяйственного пользования. Прямые потери в результате выбытия земель из оборота за 1986–2015 гг. составили в ценах на 01.06.92 380,8 млрд руб., или 15,2 млрд долл. Стоимость недополученной валовой продукции сельского хозяйства составила 10,3 млрд долл.

Прямые потери основных производственных и оборотных фондов, размещенных на территориях, выведенных из хозяйственного оборота, составили за период с 1986 по 2015 г. 865 млн долл., прямые потери продукции личных подсобных хозяйств – свыше 400 млн долл., основных фондов мелиоративного и водного хозяйства – 211 млн долл. Дополнительные затраты, связанные с ведением агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения, за 30-летний период превысили 40,0 млрд долл.

Из других отраслей агропромышленного комплекса в наибольшей степени пострадали те, производственная деятельность которых связана с частыми передвижениями и обслуживанием больших площадей. Это объекты мелиорации, предприятия сельхозтехники и сельхозхимии. На этих предприятиях в составе ущерба преобладают дополнительные затраты по дезактивации оборудования и рабочих машин, дополнительной оплате труда и затраты на спецодежду. На перерабатывающих предприятиях, осуществляющих производство продуктов питания, преобладающее место занимали дополнительные затраты на контроль радиоактивного загрязнения.

Общая сумма ущерба, нанесенного перерабатывающим отраслям АПК за период с 1986 по 2015 г., – 2,7 млрд долл. Около 50 % ее представляют фактические потери за 1986–1990 гг. в виде оставленных производственных и непроизводственных фондов, дополнительных затрат по ликвидации последствий аварии и снижению ее негативного влияния, упущенные выгоды.

В значительной степени пострадало в результате аварии лесное хозяйство. Более 2 млн га леса оказались загрязненными радионуклидами, что составляет 29,3 % всего лесного фонда Беларуси. Существенно сократилось использование лесных ресурсов, а вместе с ним уменьшились и доходы предприятий лесного хозяйства. Общая сумма ущерба, нанесенного лесному хозяйству за 30-летний период, составляет 102,9 млрд руб., или 4,1 млрд долл. Из них на долю прямых потерь материальных компонентов леса (древесные и недревесные ресурсы леса, средозащитные функции) приходится 3,57 млрд долл., или 86,7 %, на долю дополнительных затрат на проведение мероприятий, направленных на уменьшение степени

загрязнения продуктов леса, – 11,3 %, упущенной выгоды – 2,0 %. Потери лесного хозяйства возрастут, если учесть потери рекреационных функций не только в лесах зеленых зон, но и в других категориях леса.

Существенный ущерб нанесен чернобыльской катастрофой объектам производственного и социального назначения. На территории радиоактивного загрязнения было расположено около 100 крупных промышленных предприятий, из них машиностроения и металлообработки – 36, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности – 22, легкой – 9, топливной – 6, электроэнергетики – 3. Наибольший спад производства произошел на территориях зоны последующего отселения (от 15 до 40 Ки/км²). Это обусловлено как ликвидацией некоторых объектов, так и сокращением на остающихся объектах масштабов функционирования отдельных промышленных производств (табл. 3).

Таблица 3

Экономический ущерб, нанесенный отраслям народного хозяйства Республики Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС (1986–2015 гг.)

Table 3

Economic damage caused to the sectors of the national economy of the Republic of Belarus as a result of the Chernobyl nuclear power plant disaster (1986–2015)

Отрасли	Виды ущерба, млн долл.			Ущерб в целом
	прямые и косвенные потери	упущенная выгода	дополнительные затраты	
Социальная сфера				
Жилищное хозяйство	1416,3	–	5673,4	7089,7
Народное образование и культура	50,2	–	823,3	873,5
Здравоохранение	7,9	3,0	4413,2	4424,1
Торговля и общественное питание	22,0	35,5	1780,8	1838,3
Бытовое обслуживание	2,1	1,5	1,6	5,2
Итого	1498,5	40,0	12692,3	14230,8
Промышленность				
Легкая	1,6	7,0	2,4	11,0
Местная	5,5	2,0	9,4	16,9
Электроэнергетика	–	0,2	–	0,2
Топливная	–	3,2	–	3,2
Черная металлургия	–	10,4	–	10,4
Химическая и нефтехимическая	–	11,9	–	11,9
Машиностроение	–	72,3	–	72,3
Лесная, деревообрабатывающая	–	503,3	–	503,3
Итого	7,1	610,3	11,8	629,2
Строительный комплекс				
Строительное производство	–	–	1077,4	1077,4
Промышленность строительных материалов	1,7	71,3	1533,0	1606,0
Итого	1,7	71,3	2610,4	2683,4
Транспорт и связь				
Железнодорожный транспорт	1077,0	1,0	0,6	1078,6
Автомобильный транспорт	78,5	40,0	38,0	156,5
Дорожное хозяйство	1451,6	9,7	545,0	2006,3
Речной транспорт	6,0	8,0	64,5	78,5
Связь	33,2	17,0	16,0	66,2
Итого	2646,3	75,7	664,1	3386,1
Минерально-сырьевые и водные ресурсы				
Минерально-сырьевые ресурсы	1941,0	70,6	196,0	2207,6
Водные ресурсы	137,5	11,2	303,0	451,7
Месторождения минеральных вод	–	13,3	1,2	14,5
Итого	2078,5	95,1	500,2	2673,8

Общая сумма ущерба, нанесенного промышленности Беларуси в результате катастрофы, составила за 1986–2015 гг. 15,7 млрд руб., или около 630 млн долл., в том числе прямые и косвенные потери – 7,1 млн долл., упущенная выгода от прекращения или сокращения деятельности – 610,3 млн долл. (94 % от общей суммы ущерба), дополнительные затраты на перебазирование производства и создание новых мощностей – 11,8 млн долл.

В результате чернобыльской катастрофы существенный ущерб нанесен социальной сфере: жилищно-му хозяйству, здравоохранению, образованию и культуре, торговле и общественному питанию, бытовому обслуживанию. Ущерб жилищному хозяйству связан с выбытием из эксплуатации жилищного фонда, дополнительными затратами на содержание и обслуживание жилищного фонда и придомовых территорий в загрязненных радионуклидами районах, а также на строительство жилья в «чистых» районах для отселяемого населения. Прямые потери от выбытия жилищного фонда, оцениваемые по остаточной стоимости, в действующих ценах 1992 г. составили 35,4 млрд руб., или 1,4 млрд долл., затраты на жилищное строительство по Республиканской программе ликвидации последствий катастрофы на период 1986–1995 гг. – 108,3 млрд руб., или 4,3 млрд долл. Суммарный ущерб, нанесенный социальной сфере, определен в размере 355,8 млрд руб., или 14,2 млрд долл. В структуре общего ущерба основную долю занимают дополнительные затраты (12,7 млрд долл.).

Эвакуация и переселение жителей из зон отчуждения, первоочередного и последующего отселения, улучшение условий проживания в зонах с правом на отселение и проживания с периодическим радиационным контролем, осуществление оздоровительных мероприятий по снижению воздействия внутреннего и внешнего облучения предопределили крупные дополнительные затраты в эту сферу.

Ущерб строительному комплексу за 1986–2015 гг. оценен в 2,7 млрд долл., из них прямые и косвенные потери – 1,7 млн долл., упущенная выгода от сворачивания или прекращения хозяйственной деятельности – 71,3 млн долл. и дополнительные затраты на перебазирование производства, создание новых мощностей – 2,6 млрд долл. (97,3 % от всей суммы ущерба). Больше всего пострадали строительное производство (свыше 1,0 млрд долл.) и промышленность строительных материалов (977 млн долл.).

Ущерб транспорту и связи оценен почти в 3,4 млрд долл., из которых на долю прямых и косвенных потерь приходится 2,6 млрд долл. Последние вызваны, главным образом, выбытием из эксплуатации и консервацией основных фондов.

Общая сумма дополнительных затрат по жилищно-коммунальному хозяйству за прошедший период и на перспективу, вплоть до 2015 г., определена в размере 86,5 млрд руб., или 3,46 млрд долл.

В составе общего урона, нанесенного катастрофой на Чернобыльской АЭС, особое место занимает оценка ущерба, связанного с изменением состояния здоровья людей. Она проводилась на основе использования синтезированного экономического показателя – величины стоимости единицы биологического эквивалента рентгена, получаемого человеком за определенный период времени. Возможность использования такого подхода к оценке ущерба от нанесенного здоровью населения вреда рассматривалась на 5-й конференции МАГАТЭ по радиологическим последствиям чернобыльской катастрофы [7]. Расчеты, проведенные по этой методике, показали, что ущерб здоровью людей от аварийной дозы облучения равен 288,8 млн долл., от ожидаемой дозы облучения в течение 1986–1990 гг. – 64,4 млн долл., а за весь рассматриваемый период (1986–2015 гг.) – 177,5 млн долл. (табл. 4).

По мнению ученых, факторы, связанные со стрессовой ситуацией, способны нанести ущерб здоровью людей, проживающих на загрязненных территориях, в размере 355 млн долл., то есть примерно в 2 раза больше ущерба от ожидаемой дозы облучения.

Общий оцененный экономический ущерб от ухудшения состояния здоровья населения, проживающего на территории радиоактивного загрязнения, за 1986–2015 гг. составил 821,3 млн долл., из них 482 млн долл., или 58,7 %, приходится на период 1986–1990 гг.

Оценены дополнительные затраты, связанные с проведением системы мер по предотвращению (минимизации) дальнейшего ухудшения здоровья населения Гомельской и Могилевской обл., снижению заболеваемости населения, инвалидности и смертности людей в трудоспособном возрасте. Эти затраты за 1986–2015 гг. оценены в размере 73,4 млн долл. Упущенная выгода в виде уменьшения национального дохода из-за увеличения заболеваемости, числа случаев выхода на инвалидность и увеличения смертности в трудоспособном возрасте, за этот период составила около 1,0 млрд долл. Общая величина ущерба от ухудшения здоровья населения в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС за 30-летний период оценена в размере 1,9 млрд долл. (табл. 5).

Чернобыльская катастрофа обусловила значительные дополнительные затраты на переселение населения из наиболее загрязненных районов. При их оценке были рассмотрены три возможных варианта переселения. Посредством повариантного сопоставления затрат на переселение, стоимости нового строительства и величины доплат и компенсаций за проживание на загрязненных территориях определен экономически наиболее целесообразный вариант, по которому предусматривалось на тот момент отселение

из наиболее загрязненных районов 105 тыс. человек. Согласно расчетам, общая сумма ущерба, связанного с переселением населения, составила более 5 млрд долл.

Таблица 4

**Оценка возможного ущерба здоровью населения Республики Беларусь
в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, млн долл.**

Table 4

**Assessing the potential damage to the health of the population of the Republic of Belarus
as a result of the Chernobyl nuclear power plant disaster, million USD**

Годы, периоды	Источники ущерба			Итого ущерба
	от аварийной дозы облучения	от ожидаемой дозы облучения	от других факторов	
1986	288,8	15,4	31,0	335,2
1987		13,8	27,5	41,3
1988		12,3	24,6	36,9
1989		12,0	24,0	36,0
1990		10,9	21,7	32,6
1986–1990	288,8	64,4	128,8	482,0
1991–1995		37,9	75,8	113,7
1996–2000		25,0	50,0	75,0
2001–2015		50,2	100,4	150,6
Итого	288,8	177,5	355,0	821,3

Таблица 5

**Сводные данные по оценке экономического ущерба, нанесенного Республике Беларусь
в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС**

Table 5

**Summary data on the assessment of economic damage caused to the Republic of Belarus
as a result of the Chernobyl nuclear power plant disaster**

Сферы (отрасли) формирования ущерба	Суммы ущерба по годам, млрд долл.				
	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2015	1986–2015
Ухудшение здоровья населения	0,69	0,29	0,24	0,65	1,87
Промышленность	0,06	0,13	0,11	0,33	0,63
Социальная сфера	2,77	5,00	2,04	4,43	14,23
Строительный комплекс	0,15	1,25	0,32	0,96	2,68
Транспорт и связь	0,93	1,20	0,36	0,90	3,39
Жилищно-коммунальное хозяйство	0,07	0,45	0,92	2,02	3,46
Агропромышленный комплекс	18,31	20,00	15,60	18,10	72,00
Лесное хозяйство	0,58	0,68	0,70	2,15	4,11
Переселение населения	2,80	1,56	0,39	0,33	5,08
Реализация Закона «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС»	0,56	14,92	17,50	53,34	86,32
Загрязнение минерально-сырьевых и водных ресурсов	2,00	0,12	0,15	0,40	2,67
Дезактивация загрязненных территорий	0,04	4,19	22,48	10,12	36,83
Создание служб мониторинга	0,05	0,21	0,19	1,27	1,72
Итого	29,00	50,00	61,00	95,00	235,0

При оценке ущерба от радиоактивного загрязнения минерально-сырьевых и водных ресурсов учитывались прежде всего снижение интенсивности их эксплуатации либо полное ее прекращение. Проанализировано около 10 тыс. балансовых и кадастровых месторождений в зонах радиоактивного загрязнения. Исследования показали, что полному исключению из хозяйственного пользования по причине загрязнения радионуклидами подлежат следующие балансовые запасы минерально-сырьевых ресурсов: песок строительный – 1092 тыс. м³; песчано-гравийные материалы – 2956; глина – 940 тыс. м³; мел – 7716 тыс. т.; торф – 13564 тыс. т; нефть – 26000 тыс. т. Общий экономический ущерб от радиоактивного загрязнения минерально-сырьевых и водных ресурсов за 30-летний период составил 2,67 млрд долл. На долю собственно минерально-сырьевых ресурсов приходится 2,2 млрд. долл., водных – 451,7 и минеральных вод – 14,5 млн долл. В общей сумме этого ущерба прямые и косвенные потери из-за выбытия месторождений из эксплуатации составляют более 2,0 млрд долл., упущенная выгода – 95,1 и дополнительные затраты, связанные с функционированием месторождений – 500,2 млн долл.

Исходя из предполагаемой численности граждан, которые на тот момент имели право на получение различных льгот и компенсаций в соответствии с Законом Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС», сделан прогноз затрат на период до 2015 г. В ценах на 01.06.92 они составили в 1993–1995 гг. – 264,2 млрд руб., в 1996–2000 гг., – 437,3 млрд руб., за 2001–2015 гг. – 1334 млрд руб., а в долларовом эквиваленте соответственно 10,5, 17,5 и 53,34 млрд долл.

В расчеты по оценке экономического ущерба включались также затраты на выполнение работ по дезактивации, утилизации и удалению радиоактивных отходов, на организацию и функционирование службы радиозэкологического мониторинга, которые составили соответственно 36,8 и 1,72 млрд долл.

Заключение

Комплексная оценка показала, что суммарный ущерб, нанесенный Республике Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, в расчете за период с 1986 по 2015 г. составил 235 млрд долл. В структуре общего ущерба наибольший удельный вес (81,6 %) занимали дополнительные затраты на ликвидацию последствий аварии, составившие 191,7 млрд долл. На долю прямых и косвенных потерь приходилось около 30,0 млрд долл., или 12,6 %, упущенной выгоды занимали 13,7 млрд долл., или около 6 %. Из отраслей реального сектора экономики наиболее пострадало сельское хозяйство. В результате аварии радиоактивному загрязнению подверглось 1866 тыс. га сельскохозяйственных земель. Из оборота выведено 264,5 тыс. га земель. В составе общего ущерба, нанесенного катастрофой на Чернобыльской АЭС, особое место занимает оценка ущерба, связанного с изменением состояния здоровья людей. Расчеты показали, что ущерб здоровью людей от аварийной дозы облучения равен 288,8 млн долл., от ожидаемой дозы облучения в течение 1986–1990 гг. – 64,4 млн долл., а за весь рассматриваемый период (1986–2015 гг.) – 177,5 млн долл.

Выполненная оценка социально-экономического ущерба от чернобыльской аварии позволила выявить механизмы воздействия на экономику и социальную сферу. Все это позволило в дальнейшем более объективно оценивать складывающуюся радиационную обстановку, экономическую ситуацию, а также оптимизировать принятие управленческих решений и осуществления практических мероприятий по преодолению последствий катастрофы.

Библиографические ссылки

1. INES *Руководство для пользователей международной шкалы ядерных и радиологических событий*. Вена: МАГАТЭ; 2010. 235 с.
2. Шевчук ВЕ, Гурачевский ВЛ, редакторы. *20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад*. Минск: Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь; 2006. 112 с.
3. *35 лет после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: национальный доклад Республики Беларусь*. Минск: ИВЦ Минфина; 2020. 152 с.
4. Чернобыль. *Пять трудных лет. Сборник материалов*. Москва: ИздАТ; 1992. 381 с.
5. Адамушко ВИ, и др. *Чернобыльская катастрофа. 1986–1991. Документы и материалы*. Минск: Ин-т радиологии; 2011. 336 с.
6. Цыбулько НН, редактор. *Опыт и результаты деятельности Республики Беларусь по радиационной защите населения и реабилитации территорий радиоактивного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС*. Минск: ИВЦ Минфина; 2025. 212 с.
7. *Последствия облучения для здоровья человека в результате чернобыльской аварии. Научное приложение D к докладу НКДАР Генеральной ассамблеи ООН 2008 года*. ООН. Нью-Йорк: [б. и.]; 2012. 173 с.

References

1. INES *Rukovodstvo dlya pol'zovatelej mezhdunarodnoj shkaly yadernyh i radiologicheskikh sobytij* [INES User Guide for the International Scale of Nuclear and Radiological Events]. Vienna: IAEA; 2010. 235 p. Russian.

2. Shevchuk VE, Gurachevsky VL, editors. *20 let posle chernobyl'skoj katastrofy: posledstviya v Respublike Belarus' i ih preodolenie. Nacional'nyj doklad* [20 years after the Chernobyl disaster: consequences in the Republic of Belarus and their overcoming. National report. Minsk: Committee on the Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Disaster under the Council of Ministers of the Republic of Belarus; 2006. 112 p. Russian.

3. *35 let posle chernobyl'skoj katastrofy: itogi i perspektivy preodoleniya ee posledstvij: nacional'nyj doklad Respubliki Belarus* [35 years after the Chernobyl disaster: results and prospects of overcoming its consequences: National Report of the Republic of Belarus]. Minsk: IVC of the Ministry of Finance; 2020. 152 p. Russian.

4. *Chernobyl'. Pyat' trudnyh let. Sbornik materialov*. [Chernobyl. Five Difficult Years. A Collection of Materials]. Moscow: IzdAT; 1992. 381 p. Russian.

5. Adamushko VI, et al. *Chernobyl'skaya katastrofa. 1986–1991: dokumenty i materialy* [Chernobyl disaster. 1986–1991. Documents and materials]. Minsk: Institute of Radiology; 2011. 336 p. Russian.

6. Tsybulka NN, editor. *Opyt i rezul'taty deyatel'nosti Respubliki Belarus' po radiacionnoj zashchite naseleniya i rehabilitacii territorij radioaktivnogo zagryazneniya vsledstvie avarii na Chernobyl'skoj AES* [Experience and results of the Republic of Belarus's activities in radiation protection of the population and rehabilitation of territories contaminated with radioactive substances as a result of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. Minsk: Information and Communications Center of the Ministry of Finance; 2025. 212 p. Russian.

7. *Posledstviya oblucheniya dlya zdorov'ya cheloveka v rezul'tate chernobyl'skoj avarii. Nauchnoe prilozhenie D k dokladu NKDAR General'noj assamblee OON 2008 goda* [Effects of radiation on human health as a result of the Chernobyl accident. Scientific Appendix D to the 2008 NCDAR Report to the UN General Assembly]. New York: [publisher unknown]; 2012. 173 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 29.01.2026.

Received by editorial board 29.01.2026.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ И ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ^{90}Sr В КОРМАХ, ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ, ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА И ВОДЕ

З. В. СТРЕЛЯЕВА¹⁾, А. В. БАРДЮКОВА¹⁾

¹⁾Институт радиобиологии, Национальная академия наук Беларуси,
ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь

В научно-исследовательских работах, мониторинге, аудитах применяются ряд методик выполнения измерений, которые в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 подлежат совершенствованию с последующей верификацией и валидацией. Цель исследований: разработать и усовершенствовать метод определения содержания долгоживущих техногенных радионуклидов ^{90}Sr в объектах окружающей среды, основанных на приемах радиохимического выделения. В настоящее время для определения объемной активности ^{90}Sr в питьевой воде и продуктах питания используются Инструктивно-методические указания по радиохимическим методам определения радиоактивности в объектах ветнадзора, утвержденные Главным управлением ветеринарии Министерства сельского хозяйства СССР 24 августа 1984 г.), однако они морально и практически устарели. Для усовершенствования подходов в области радиохимии возникла необходимость разработки новой Методики выполнения измерений удельной и объемной активности ^{90}Sr в кормах, продуктах питания, продукции животноводства и воде. Выявлены и установлены происходящие отклонения в процессе выполнения измерений при применении испытаний, разработана надежная оценка неопределенности измерения. Проведены аналитические работы в лаборатории массовых анализов Института радиобиологии НАН Беларуси 98 проб разных матриц: пищевая продукция (молоко, картофель, зерно), костная ткань, вода разной активности с добавлением СОКК, для идентификации и статистических расчетов радиоактивного загрязнения изотопами ^{90}Sr . Существующие методические указания по определению стронция в пищевых продуктах нуждаются в совершенствовании, актуализации основных приемов проведения исследований, валидации и верификации данных. Ожидается высокий экономический эффект от замены устаревшей методики на модернизированную и усовершенствованную. Разработке документа предшествовала модернизация схем последовательности выполнения радиохимических испытаний: схема выделения радионуклидов из грубых и концентрированных кормов оксалатным методом. Установлены последовательность и содержания операций при подготовке и выполнении испытаний, включая требования по обеспечению безопасности труда и экологической безопасности, а также требования к квалификации операторов. На сегодняшний день существует нормативная документация, а методов определения превышений допустимых уровней в области радиологии нет или они устарели, или не обладают необходимой аттестацией в рамках Законодательной метрологии.

Ключевые слова: радиохимический анализ; радиохимическое разделение образца; фосфатный метод; оксалатный метод; образцы; ^{90}Sr .

Благодарность. Выражаем признательность инженерному составу лаборатории агроэкологии и массовых анализов Института радиобиологии за проделанную аналитическую помощь в рамках научно-исследовательской работы.

Образец цитирования:

Стреляева ЗВ, Бардюкова АВ. Совершенствование методики выполнения измерений удельной и объемной активности ^{90}Sr в кормах, продуктах питания, продукции животноводства и воде. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2026;1:99–107.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-99-107>

For citation:

Straliayeva ZV, Bardyukova AV. Improvement of methodological approaches for the determination of specific and volumetric activities of ^{90}Sr in feeds, food products, animal foods and water. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2026;1:99–107. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-99-107>

Авторы:

Зоя Вячеславовна Стреляева – кандидат сельскохозяйственных наук; ведущий научный сотрудник лаборатории агроэкологии и массовых анализов.

Алеся Владимировна Бардюкова – младший научный сотрудник лаборатории агроэкологии и массовых анализов.

Authors:

Zoya V. Straliayeva, PhD (agriculture); leading researcher at the laboratory of agroecology and mass analysis.

zoyalozovaya@yandex.by

Alesya V. Bardyukova, junior researcher at the laboratory of agroecology and mass analysis.

alesya.bardyukova@mail.ru

IMPROVEMENT OF METHODOLOGICAL APPROACHES FOR THE DETERMINATION OF SPECIFIC AND VOLUMETRIC ACTIVITIES OF ^{90}Sr IN FEEDS, FOOD PRODUCTS, ANIMAL FOODS AND WATER

Z. V. STRALIAYEVA^a, A. V. BARDYUKOVA^a

^a*Institute of Radiobiology, National Academy of Sciences of Belarus,
4 Fedyuninskaya Street, Gomel 246007, Belarus
Corresponding author: Zoya V. Straliayeva (zoyalozovaya@yandex.by)*

Delivery of scientific and methodological follow-up shall be based on the method's most recent revised edition, unless its use is deemed unreasonable or impossible. When necessary, additional clarifications should be developed to put it to practice and ensure the method's consistency. According to GOST ISO/IEC 17025-2019, a number of measurement procedures used in scientific research, monitoring practices and audits are subject to improvement, with subsequent verification and validation. Such are, for instance, the Guidelines for Radiochemical Methods of Determining Radioactivity in Veterinary Facilities, approved by General Veterinary Office, USSR Ministry of Agriculture, of August 24, 1984, Moscow. Existing methodological guidelines and recommended practices require further modernization and upgrade of the basic measurement approaches, as well as validation and verification of data. By establishing and introduction of scientific and organizational basics, technical means, rules and standards, required for laboratory research, one might expect a definitely high economical effect achieved through shifting from outdated procedure to an updated and improved one. The document's development was preceded by radiochemical analysis sequence revision: the process of radionuclide extraction from raw and concentrated feeds via oxalate procedure. Specified and adjusted are the sequence and scope of operations at preparation and implementation stages, including operational and environmental safety and operators' qualification requirements. The sequential steps of radiochemical analysis include converting of samples into a solution, isolation of the radionuclide, its radiometry with subsequent statistical processing of the results obtained. The methodological approaches used for the determination of plutonium in soil should take into account both the individual characteristics of samples and the nature of their radioactive contamination. The procedure contains all structural elements in accordance with Gosstandard Decree No. 61 of July 1, 2021, which replaced the existing GOST 8.010-2013 for authoring measurement procedures. The methodology includes the uncertainty assessment developed by us for this analytical method. The methods for determining radionuclides in the environment are used to ensure strict compliance with the safety requirements for foodstuffs, water, and feedstuffs in fee production sectors. As of today, there exist certain regulatory documentation but no methods of how to determine the limit exceedance in the field of radiology, or the methods are outdated or do not have the lawful certification by an authorized metrological agency.

Keywords: radiochemical analysis; radiochemical isolation; phosphate method; oxalate method; samples; ^{90}Sr .

Acknowledgement. We are expressing our sincere gratitude to the engineering staff of Agroecology and Mass Analysis Laboratory, Institute of Radiobiology NAS Belarus, for analytical research carried out as part of this research effort.

Введение

После аварии на ЧАЭС сложилась уникальная ситуация, характеризующаяся не только огромными площадями загрязненных территорий, но и разным составом радионуклидов, выброшенных из реактора, а также широким диапазоном мощностей доз хронического облучения. Радиозкологическая обстановка характеризуется сложностью и неоднородностью загрязнения территории альфа-, бета- и гамма-излучающими радионуклидами, присутствием радиоизотопов практически во всех компонентах экосистем и вовлечением их в геохимические и трофические циклы миграции. В результате испытания ядерного оружия и различных аварий на предприятиях ядерно-топливного цикла в биосфере появились ранее отсутствующие трансурановые элементы. Обладая большим периодом полураспада, они включаются в круговорот веществ и в течение тысячелетий будут представлять радиологическую опасность.

Радионуклиды могут оказаться в источнике воды, используемой человеком, по причине естественного присутствия радионуклидов в земной коре, а также вследствие техногенной деятельности человека – при испытаниях ядерного оружия, недостаточной очистке сточных вод предприятий атомной энергетики и промышленности или авариях на этих предприятиях, утерях или хищениях радиоактивных материалов, добыче и переработке нефти, газа, руд и др. Учитывая реальность такого рода загрязнения вод, в нормативы на питьевую воду вводятся требования по ее радиационной безопасности, а именно – общая α -радиоактивность (поток ядер гелия) не должна превышать 0,1 Бк/л, а общая β -радиоактивность (поток электронов) не выше 1,0 Бк/л (1 Бк соответствует одному распаду в секунду).

В качестве источников питьевого водоснабжения используется два типа природных вод:

- поверхностные (реки, озера, водохранилища);
- подземные (грунтовые, подрусловые, артезианские, трещинные воды кристаллических массивов).

Содержание радионуклидов в природных водах варьирует в очень широком диапазоне и зависит от состава вмещающих пород, локальных и региональных особенностей их геологического строения, типа вод, климатических условий и др.

Наиболее высокое содержание природных радионуклидов наблюдается в подземных водах, приуроченных к кислым магматическим породам, например, в водах трещиноватых гранитов. Подземные воды осадочного чехла могут иметь как низкую, так и высокую активность, что определяется не только содержанием природных радионуклидов в водовмещающих породах, но и гидравлической взаимосвязью разных водоносных горизонтов, проницаемыми тектоническими зонами, «окнами» в водоупорных пластах и др. При этом подземные воды одного горизонта на разных участках могут иметь различные уровни содержания природных радионуклидов и даже разный радионуклидный и микроэлементный состав. Содержание природных радионуклидов в поверхностных водах, как правило, незначительно и редко превышает значения уровня вмешательства.

Для определения объемной активности ^{90}Sr в питьевой воде используются «Инструктивно-методические указания по радиохимическим методам определения радиоактивности в объектах ветнадзора», (Утвержденная Главным управлением ветеринарии Министерства сельского хозяйства СССР 24 августа 1984 г., Москва). На сегодняшний день методика является недостаточно актуальной, поскольку за это время многое изменилось в радиохимических подходах. В связи с этим мы разработали новую Методику и совместили в ней определения радионуклидов в пищевой продукции и кормовой составляющей, а также в воде.

Существующие методические указания нуждаются в совершенствовании, актуализации основных приемов проведения исследований, валидации и верификации данных. При установлении и применении научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для проведения испытаний, ожидается определенно высокий экономический эффект от замены устаревшей методики на модернизированную и усовершенствованную. Данный вид работы проводился в 2021–2023 гг. и в итоге была представлена МВИ «Удельная и объемная активности стронция-90 в кормах, продуктах питания, продукции животноводства и воде».

Материалы и методы исследования

Методика определения ^{90}Sr в объектах ветнадзора путем радиохимического разделения разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 8.010. Она предназначена для определения содержания радионуклида ^{90}Sr в комбикормах-конcentратах, силосе, сенаже, корнеклубнеплодах, грубых кормах (сено, солома), продуктах питания и воде с применением радиохимического разделения образцов.

Оценку показателей точности (правильности и прецизионности) МВИ и неопределенности измерений проводили по результатам измерений модельных проб: проб кормов из Ветковского р-на ОАО Халыч, МТК Шерстин; Хойникского р-на МТК Стреличево, КСУП Стреличево, зеленая масса МТК Дворище Хойникского р-на, зеленая масса КСУП Судково Хойникского р-на.

Точность характеристики МВИ определялись для образцов кормов и зеленой массы, продуктах питания и воде разной активности. Измерения проводились на низкофоновой альфа-бета установке *Canberra S5E*, диапазон измеряемой активности которой составляет 0,04–10000 Бк.

Анализ архивных данных результатов испытаний проб объектов ветнадзора для применения их в расчетных алгоритмах усовершенствованной методики. Произведен анализ архивных данных результатов испытаний проб объектов ветнадзора для применения их в расчетных алгоритмах совершенствования и модернизации методики. Стандарт *ISO/IEC 17025:2017* содержит требования к лабораториям, выполнение которых позволит им продемонстрировать компетентность и способность получать достоверные результаты.

Одним из компонентов, необходимых для функционирования лаборатории, являются методики. Для получения достоверного результата, согласно требованиям *ISO/IEC 17025:2017*, перед применением методики должны быть верифицированы, а в ряде случаев – валидированы. В стандарте требования по верификации и валидации методик регламентирует подраздел 7.2.

Методика измерений должна быть устойчивой (робастной), следовательно, небольшие отклонения в процедуре не должны быть причиной непредвиденно больших изменений результатов. Если такое может произойти, то должны быть приняты адекватные меры предосторожности или предупреждения. Желательно также, чтобы в процессе разработки стандартного метода измерений были приложены все усилия для устранения или уменьшения систематической погрешности.

В связи с отсутствием возможности в рамках данной работы организовать межлабораторный эксперимент в нескольких лабораториях проводилось внутрилабораторное исследование показателей точности с изменяющимися факторами «время + оператор». Накопление экспериментальных данных и обработка

МВИ осуществлялась на базе лаборатории агроэкологии и массовых анализов Института радиобиологии НАН Беларуси.

Отбор проб проводился сотрудниками лаборатории агроэкологии и массовых анализов в специально выбранных контрольных пунктах, расположенных на территории сельскохозяйственных предприятий, которые ведут свою деятельность на загрязненных радионуклидами землях в результате аварии на ЧАЭС. К объектам исследований относятся все виды фуража: грубые корма (солома, сено, сенаж и др.), сочные корма (трава, силос и др.), концентрированные корма (зернофураж, комбикорм, жмыхи и др.), продукты животноводства (мясо, молоко, кости).

Для исследования рекомендуется брать среднюю пробу. Для этого каждый объект отбирают в нескольких равных повторностях (не менее 3-х) с разных участков поля, скирды, бурта и т. д. с дальнейшим их объединением в одну, которую затем взвешивают и отправляют на исследование. Пробы молока усредняют путем тщательного перемешивания объединенного удоя. При отборе проб мяса и костей следует брать одну и ту же группу мышц и костей (ребра, шейные позвонки).

Результаты исследования и их обсуждение

Радиохимический анализ биологически значимых радионуклидов ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в современной системе радиационного контроля требует постоянного развития, которое определяется совершенствованием методов селективного выделения нуклидов, качеством формирования измеряемой конфигурации мишени и последующей регистрации ядерных излучений [1].

Использование менее трудоемких спектрометрических (инструментальных) методов имеет существенное ограничение, связанное с величинами измеряемой активности радионуклидов. Так, при высоких активностях ^{90}Sr (> 300 Бк/пробу) вполне допустимо его инструментальное определение с использованием специального математического аппарата выделения и обработки бета-спектра ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$) из суммарного спектра пробы, поскольку относительное влияние других радионуклидов является незначительным [2]. При более низких уровнях активности ^{90}Sr (соотносимых с временно допустимыми в сельскохозяйственной продукции), спектрометрический анализ, как правило, дает весьма завышенные результаты, что обусловлено присутствием в пробах природных изотопов ^{210}Pb и ^{210}Bi . Аналогичная ситуация имеет место при **гамма-спектрометрическом** определении содержания ^{241}Am в почве и других объектах окружающей среды в процессе измерения интенсивности линии 59,6 КэВ. Рассеянные гамма-кванты ^{137}Cs ($E_\gamma = 661$ КэВ) при высокой активности нуклида создают комптоновское распределение в области пика ^{241}Am , фактически исключая возможность его корректного количественного детектирования. Иногда влияние ^{137}Cs в этом случае подавляют путем предварительной радиохимической очистки проб при оксалатном соосаждении ^{241}Am с кальцием из растворов выщелачивания [3]. В последнем случае используется совмещенный инструментально-радиохимический метод.

Присутствие ^{90}Sr в окружающей среде является опасным показателем для живых организмов, поскольку этот радионуклид накапливается в костной ткани. Поэтому остается актуальным совершенствование методической базы для контроля содержания радионуклидов в почве, растениях, воде, продуктах питания и др.

В то время как ^{137}Cs в объектах окружающей среды определяют на гамма-спектрометрических комплексах, что сейчас уже не представляет больших трудностей при массовых анализах, определение ^{90}Sr требует применения радиохимического анализа. Эта необходимость обусловлена его радиационными характеристиками, по которым данный радионуклид проявляется только «чистым» бета-излучателем (то есть распад его ядер не сопровождается испусканием гамма-квантов). Как правило, радиохимическая аналитика предполагает последовательное выполнение отдельных стадий, включая предварительную подготовку (минерализацию, озоление, концентрирование и др.), перевод пробы в раствор, выделение и очистку радионуклида из раствора, изготовление препарата для радиометрического измерения активности. Кроме того, важным моментом всегда является определение химического выхода радионуклида с использованием в случае стронция его стабильного изотопа или радиоактивной метки ^{85}Sr . Радиоактивность стронция может быть определена регистрацией бета-частиц ($E_{\beta\text{max}} = 0,54$ МэВ), испускаемых при его распаде, или по дочернему ^{90}Y ($T_{1/2} = 64$ ч), который является также «чистым» бета-излучателем и обладает существенно большей максимальной энергией бета-излучения ($E_{\beta\text{max}} = 2,27$ МэВ).

Система радиационного контроля, которая в настоящее время ведет мониторинг ^{90}Sr как в агросфере, так и во всей природной среде, первоначально стала создаваться на методиках, где выделение данного радионуклида основывалось главным образом на реакциях осаждения [4; 5]. Наибольшее применение получило осаждение оксалатов или карбонатов щелочноземельных элементов на первом этапе радиохимической очистки стронция с последующим осаждением гидроксидов железа/алюминия и повторное осаждение оксалатов или карбонатов. Трудоемкость осуществления всех последовательных стадий осаждения

в многочасовой радиохимической очистке вещества определила поиск наиболее эффективных методических подходов.

Одним из результатов поиска наиболее производительных решений стала разработанная, а затем аттестованная методика выполнения измерений для определения ^{90}Sr в почве и растениях без разделения в системе «стронций – кальций»¹. Полный цикл радиохимических процедур при этом занимает не более 6 ч, поэтому данная методика хорошо себя зарекомендовала в радиологической практике и активно используется до сих пор при производстве массовых анализов, особенно для почв, имеющих высокое содержание железа. Значительное сокращение времени достигается исключением процедуры разделения «стронций – кальций» путем учета коэффициента регистрации в зависимости от массы получаемых мишеней (связанной с содержанием кальция) и времени накопления вторичного ^{90}Y .

Для определения ^{90}Sr предложены такие подходы, в которых применяются экстракционно-хроматографические сорбенты на основе замещенных таких краун-эфиров, как дибензо-18-краун-6 (ДЦГ28К6) и дицикло-18-краун-6 (ДБ18К6), а также их производные. Высокая степень избирательности для ^{90}Sr была достигнута применением в качестве экстрагента 4,4'(5')-ди-[(трет-бутил) циклогексан]-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6). Этот реагент проявляет хорошее сродство к ионам Sr^{2+} , образуя высокоселективные комплексные соединения в результате совпадения между диаметром полости краун-эфира (270–290 пм) и диаметром ионов стронция (240 пм). Метод экстракционной хроматографии – это вариант сочетания жидкостной экстракции с техникой хроматографии, выполняемой на колонке. При использовании данного метода химический выход стронция составляет не менее 95 % и существенно сокращается время (до 2 ч), затрачиваемое на анализ. Применение жидкостных сцинтилляционных счетчиков для регистрации ^{90}Sr или его дочернего ^{90}Y обуславливает самую высокую эффективность счета бета-излучения (60–70 %), достигающую практически 100 % при оптимальных условиях. Газопоточные пропорциональные счетчики не обеспечивают такой высокой эффективности регистрации, но отличаются достижением наиболее низких (менее 0,05 Бк) минимально детектируемых уровней активности (МДА) радионуклида.

В радиологической практике при производстве массовых анализов хорошо себя зарекомендовала и активно используется до сих пор методика определения ^{90}Sr в почве и растениях без разделения в системе «стронций – кальций». Для выявления радионуклидов в пробах «свежих» радиоактивных выпадений удельный вес собственно радиохимических операций значительно возрастает при использовании традиционных схем очистки. Определение ^{90}Sr в таких пробах требует очистки от мешающего изотопа ^{140}Ba , что предполагает выполнение достаточно трудоемкой стадии хроматного осаждения. В такой ситуации применение экстракционно-хроматографического метода, который значительно упрощает химические операции выделения радионуклидов, может оказаться наиболее эффективным.

Радиологические исследования должны проводиться по соответствующим методикам, разработанных на основании нормативных документов: норм и правил работы с ИИИ и РВ, ГОСТов и других документов, приведенных в списке использованной литературы. Методики радиационного контроля устанавливают совокупность операций и правил выполнения радиационных измерений и обработки их результатов для контролируемого объекта, необходимых для получения полной и адекватной измерительной информации о состоянии объекта в соответствии с требованиями нормативных документов. В них приводятся характеристики точности измерений искомой величины с помощью используемого средства измерения (СИ) и Методики выполнения измерений (МВИ), или Методики радиационного контроля (МРК). Все методики должны соответствовать метрологическим параметрам, которые включают неопределенность измерений (контроля) и оцениваются как интервал вокруг измеренного значения величины, внутри которого с заданной вероятностью находится ее истинное значение (расширенная неопределенность). При радиационном контроле для оценки результатов используется доверительная вероятность $P = 0,95$ (коэффициент охвата $K = 2$). Неопределенность измерений может выражаться как абсолютная (в единицах измеряемой величины), так и относительная (по отношению к измеренному значению величины). Приборы и аппаратура для радиационного контроля должны быть сертифицированы и поверены в установленном порядке (ГОСТ 27451-87, ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019). Для проверки работоспособности и калибровки аппаратуры используются контрольные и эталонные источники для каждого вида излучения (типа ОСГИ – образцовые спектрометрические гамма-источники, ГОИ – государственные образцовые источники, СО – стандартные образцы и др.).

При выполнении радиометрических, радиологических исследований, радиационного контроля необходимо соблюдать правила техники безопасной работы с контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, требования при работе с вредными веществами, пожарной безопасности, электробезопасности, соблюдать меры индивидуальной защиты и личной гигиены. Организация обучения персонала

¹МВИ.МН 1932-2003. Методика радиохимического определения удельной активности ^{90}Sr в почвах и растениях без разделения в системе стронций-кальций. Введ. 28.08.2003. Минск, 2003.

безопасности труда производится в соответствии с «Программой обучения и проверки знаний сотрудников, работающих с источниками ионизирующих излучений, по вопросам охраны труда и радиационной безопасности», утвержденной руководителем организации (учреждения). Исполнители должны быть проинструктированы о мерах безопасности при работе с открытыми источниками и контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, работе на радиологическом комплексе «Прогресс» и другой аппаратуре в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

Для предотвращения распространения радиоактивного загрязнения выполнение таких операций, как пересыпание, сушка, отбор проб неизвестного радионуклидного состава, дробление, рассеивание на фракции, взятие навески для счетного образца необходимо проводить на эмалированных или пластмассовых поддонах в вытяжных шкафах. Одно из условий при отборе проб является предохранение их от вторичных загрязнений на всех этапах подготовки.

Спектроскопические методы анализа основаны на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Это взаимодействие приводит к различным энергетическим переходам (электронным, колебательным, вращательным и т. д.), которые регистрируются экспериментально в виде поглощения излучения, отражения и рассеяния электромагнитного излучения. Спектроскопические методы анализа позволяют получать и исследовать сигналы в различных областях спектра электромагнитных волн – от коротких рентгеновских до длинных радиоволн. Для аналитических целей наибольшее значение имеют методы, оперирующие с излучением ультрафиолетового, видимого, инфракрасного диапазонов. Их подразделяют на атомную и молекулярную оптическую спектроскопию. По характеру взаимодействия электромагнитного излучения с веществом методы делят на абсорбционные (абсорбция – поглощение излучения), эмиссионные (эмиссия – испускание излучения), методы комбинационного рассеивания, спектроскопию отражения. Согласно квантовой теории, частица вещества (атом, молекула) может находиться только в определенных стационарных состояниях, которым отвечает некоторая дискретная последовательность энергетических уровней. Состояние с минимальной энергией называется основным, все остальные – возбужденными.

Переход частицы из одного стационарного состояния в другое сопровождается испусканием или поглощением кванта электромагнитного излучения – фотона. Каждому переходу отвечает монохроматическая спектральная линия определенной частоты (длины волны) и интенсивности. Частота и длина волны спектральной линии определяются выражением: $E_i - E_j = h\nu_{ij} = hc / \lambda_{ij}$, где E_i , E_j – энергии исходного и конечного состояний частицы; h – постоянная Планка; ν – частота; λ – длина волны; c – скорость света. Интенсивность спектральной линии определяется количеством лучистой энергии с частотой ν_{ij} , испускаемой или поглощаемой частицей в единицу времени. Совокупность спектральных линий, принадлежащих данной частице, составляет ее спектр. Если спектр обусловлен переходами, при которых $E_i > E_j$, его называют спектром испускания. Спектры, испускаемые термически возбужденными частицами, называют эмиссионными. Спектры испускания частиц, возбужденных другими источниками (квантами электромагнитного излучения, потоком электронов, электрическим полем и др.) принято называть спектрами люминесценции. Если спектр обусловлен переходами, при которых $E_i < E_j$, его называют спектром поглощения или абсорбционным. Линии, возникающие в результате переходов в основное или из основного состояния, а также соответствующие переходы, называют резонансными.

Спектры атомов в ультрафиолетовой (УФ), видимой и инфракрасной (ИК) спектральных областях, называют оптическими. Оптический диапазон обычно подразделяют на дальнюю (вакуумную) и ближнюю УФ-область, видимую область, ближнюю, среднюю и дальнюю ИК-область. Спектры атомов в УФ, видимой и ближней ИК-областях возникают при переходах внешних (валентных) электронов из одних энергетических состояний в другие. Атомные спектры имеют линейчатую структуру, число линий в спектре определяется вероятностью перехода, положение линии в спектре зависит только от природы атома. Наиболее интенсивные линии в спектре называют аналитическими, для атомов каждого элемента известны их характеристики, поэтому исследуя атомные спектры образца можно установить наличие в нем тех или иных элементов.

Назначение и область применения МВИ. Основным методом определения радиоактивности объектов ветнадзора является радиохимический анализ, позволяющий наиболее точно определять концентрации отдельных радионуклидов в продукции сельского хозяйства. Он состоит из ряда последовательных этапов: отбор проб исследуемых объектов; переводение их в раствор; выделение интересующего радионуклида; его радиометрирование с последующей статистической обработкой полученных результатов. Используемые для определения того или иного радиоизотопа методические приемы должны учитывать, как индивидуальную особенность исследуемых проб, так и характер их радиоактивного загрязнения. От правильного выполнения первых двух этапов радиохимического анализа во многом зависит объективность информации о концентрации радионуклидов в интересующих объектах. Поэтому четкое выполнение

правил отбора проб и их последующей обработки, включая переводение их в растворимое состояние, является непереносимым условием качественного выполнения радиохимического исследования.

В настоящей МВИ использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА): СТБ ИСО 5725-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений (части 1–6); ГОСТ 8.010-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения; ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования; ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения» Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137; Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности» и ГН «Критерии оценки радиационного воздействия» Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213.

Точность измерения

1. Диапазон измерения активности: 0,04–10 000 Бк
2. Эффективность регистрации бета-излучения для геометрии C0: $(0,36 \pm 0,03) \text{ с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$
3. Погрешность измерения активности для штатной геометрии не превышает $\pm 30 \%$ ($P = 0,95$). Для других геометрий определяется применяемой методикой выполнения измерения и находится в диапазоне 15–50 % ($P = 0,95$).

Методы определения радионуклидов. Выбор методики определения любого радионуклида зависит, прежде всего, от особенностей объекта исследования, количества и изотопного состава других радиоактивных и нерадиоактивных компонентов в нем.

Значительное содержание и разнообразие макропримесей в объектах ветнадзора обуславливает и разнообразие применяемых методов предварительного концентрирования интересующих радионуклидов, из которых наибольшее распространение нашли методы осаждения (соосаждения), экстракции и ионного обмена. Дальнейшие стадии радиохимической очистки радиоизотопа зависят от радионуклидного состава анализируемых, проб. В период выпадения «свежих» (возраст до 1 года) стратосферных (тропосферных) осадков почти во всех видах кормов, помимо долгоживущих изотопов стронция-90 и цезия-137, будут присутствовать в значительных количествах такие радионуклиды, как Sr-89, Y-91, Zr-95, Nb-95, Rb-90, Ru-106, Rh-106, Sb-124, 125, Ce-141, 144 и другие радионуклиды, периоды полураспада которых лежат в пределах от 30 дней до 1–2 лет. При отсутствии «свежих» выпадений растительные объекты будут загрязнены в основном долгоживущими изотопами стронция-90, цезия-137, церия-144 и естественными радионуклидами свинца-210 (висмута-210), тория-234, радия-228 (актиния-228).

Приведенные методики определения наиболее значимых в биологическом отношении радионуклидов учитывают указанные выше особенности исследуемых объектов и характер радиоактивного их загрязнения.

Определение стронция-90. Стронций является элементом 2-й группы периодической системы элементов и в силу этого по своим химическим свойствам сходен с другими представителями этой группы – кальцием и барием. В радиохимическом анализе используются его соли: растворимые – нитрат, хлорид и труднорастворимые в воде оксалат, сульфат, карбонат; гидроксид стронция хорошо растворим в водных растворах, что позволяет отделять стронций от целого ряда других элементов, образующих труднорастворимые гидроксиды.

Стронций имеет более 10 радиоактивных изотопов, наиболее важными из которых являются ^{89}Sr ($T_{1/2} = 51 \text{ сут.}$, $E_\beta = 1,46 \text{ Мев}$) и ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28,6 \text{ г.}$, $E_\beta = 0,54 \text{ Мев}$). Во всех биопробах присутствует в значительных количествах кальций (0,5–5 г), а в виду близости его свойств со стронцием, процесс их разделения связан с определенными трудностями. Поэтому в каждой из предлагаемых методик стронций-90 определяется по его дочернему изотопу иттрию-90, находящемуся в состоянии радиоактивного равновесия.

В радиологической практике при производстве массовых анализов хорошо себя зарекомендовала и активно используется до сих пор методика определения ^{90}Sr в почве и растениях без разделения в системе «стронций – кальций». Для определения радионуклидов в пробах «свежих» радиоактивных выпадений удельный вес собственно радиохимических операций значительно возрастает при использовании традиционных схем очистки. Определение ^{90}Sr в таких пробах требует очистки от мешающего изотопа ^{140}Ba , что предполагает выполнение достаточно трудоемкой стадии хроматного осаждения. В такой ситуации применение экстракционно-хроматографического метода, который значительно упрощает химические операции выделения радионуклидов, может оказаться наиболее эффективным.

Заключение

По итогам исследования произведен анализ архивных данных результатов испытаний проб объектов ветнадзора для применения их в расчетных алгоритмах совершенствования и модернизации методики. Разработке документа предшествовала модернизация алгоритмов последовательности выполнения радиохимических испытаний: схема выделения радионуклидов из грубых и концентрированных кормов оксалатным методом и схема выделения радионуклидов из продуктов животноводства (молоко, мясо, кости, органы) фосфатным методом. Установлены последовательность и содержания операций при подготовке и выполнении испытаний, включая требования по обеспечению безопасности труда и экологической безопасности и требования к квалификации операторов.

Разработан документ МВИ «*Удельная и объемная активности стронция-90 в кормах, продуктах питания, продукции животноводства и воде. Методика измерений*». Описан процесс измерения, оценены характеристики и стандартные величины, проведен контроль точности результатов. Методика разработана в соответствии с требованиями ИСО/МЭК 17025:2019, пункта 7.2.1.5 основополагающего стандарта аккредитации «Валидация аналитических методик». Она содержит все структурные элементы в соответствии с Постановлением № 61 Госстандарта от 1 июля 2021 г., который был утвержден взамен существующего ГОСТа для написания методик выполнения измерений 8.010-2013.

В соответствии с требованиями Закона РБ «Об обеспечении единства измерений» от 11 ноября 2019 г. № 254-З разработанная методика направлена на метрологическую экспертизу в Брестский ЦСМС, для дальнейшего включения ее в Единый государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений (реестр методик).

Произведен расчет неопределенности измерений разработанной МВИ. В процессе оценки неопределенности измерений были рассчитаны значения и стандартные отклонения входных величин; произведен анализ корреляций; составлен бюджет неопределенности и т. д. В результате разработана надежная оценка неопределенности измерения, выраженная в Контрольных картах Шухарта. В методику включена разработанная нами оценка неопределенностей по данному методу исследований. Чтобы добиться сокращения неопределенностей, касаемых метода, применялся подход «Чем точнее метод, тем меньше разброс значений внутри интервала в 95 %».

Лаборатория, в которой проводятся испытания, аккредитована на независимость и техническую компетентность в соответствии с требованиями с ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. В область аккредитации лаборатории входят объекты испытаний: продукты питания, корма, вода питьевая.

Организованы и проведены теоретические и экспериментальные исследования по оценке показателей точности разработанной методики выполнения измерений. Экспериментально опробована методика выполнения измерений, сделан анализ соответствия показателей точности исходным требованиям, проведена обработка промежуточных результатов измерений и вычисление окончательных результатов, полученных с помощью данной методики выполнения измерений.

Существующие до нашей разработки «Инструктивно-методические указания по радиохимическим методам определения радиоактивности в объектах ветнадзора» (утверждена Главным управлением ветеринарии Министерства сельского хозяйства СССР 24 августа 1984 г., Москва), нуждались в совершенствовании и актуализации основных приемов проведения исследований, валидации и верификации данных. Согласно Закону «Об обеспечении единства измерений» от 11 ноября 2019 г. № 254-З, методики, применяемые в сфере государственного регулирования, подлежат обязательной аттестации в порядке, утвержденным агентством по техническому регулированию и метрологии.

Разработанные нами методики, после проведения обязательной метрологической экспертиза, будут внесены в Государственный информационный фонд аттестованных методик по обеспечению единства измерений.

Образцы, полученные с применением этих методик, могут также радиометрироваться на установках ДП-100 или УМФ-1500, кроме низкофоновых установок типа CANBERRA. Такого типа радиометры применяются во многих областных и республиканских радиологических и ветеринарных лабораториях, где проводятся аналитические работы по определению Sr-90 в фураже, продуктах животноводства, рыбе и воде. Данные методики уже сейчас очень ожидаемы, поскольку аккредитованные лаборатории не имеют права работать с методиками, не прошедшими метрологический контроль.

Библиографические ссылки

1. Москвин ЛН. *Проблемы радиохимического контроля на атомных электростанциях*. В: *Современные методы разделения и определения радиоактивных элементов*. Москва: Наука; 1989. 183 с.
2. Бахур АЕ, Мануилова ЛИ, и др. Стронций-90 в почвах: радиохимические и инструментальные методы определения. *Научно-информационный журнал по радиационной безопасности Анри*. 2003;1:20–28.

3. Бушуев АВ, и др. *Развитие γ -спектрометрической методики для контроля загрязненности почв ^{241}Am и Pu* . Препринт: МИФИ 013-96. Москва: [б. и.]; 1996. 88 с.
4. Марей АН, и др. *Методические указания по радиационному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды*. Москва: Минздрав СССР; 1980. 337 с.
5. Кузнецов АВ, и др. *Методические указания по определению содержания стронция-90 и цезия-137 в почвах и растениях*. Москва: [б. и.]; 1985.

References

1. Moskvina LN, et al. *Problemy radiohimicheskogo kontrolya na atomnykh elektrostanciyah* [Problems of radiochemical control at nuclear power plants]. In: *Modern Methods of Separation and Determination of Radioactive Elements*. Moscow: Nauka; 1989. 183 p. Russian.
2. Bahur AE, Manuilova LI, et al. *Stroncij-90 v pochvakh: radiohimicheskie i instrumental'nye metody opredeleniya* [Strontium-90 in soils: radiochemical and instrumental methods of determination]. *Henri's Scientific and Informational Journal on Radiation Safety*. 2003;1:20–28. Russian.
3. Bushuev AV, et al. *Razvitie γ -spektrometriceskoj metodiki dlya kontrolya zagryaznennosti pochv ^{241}Am i Pu* [Development of a γ -spectrometric technique for monitoring soil contamination with ^{241}Am and Pu]. Preprint: MIFI 013-96. Moscow: [publisher unknown]; 1996. 88 p. Russian.
4. Marey AN, et al. *Metodicheskiye ukazaniya po radiatsionnomu kontrolyu za soderzhaniyem radioaktivnykh veshchestv v ob'ekтах vneshney sredy* [Guidelines for Radiation Control of the Content of Radioactive Substances in Environmental Objects]. Moscow: Ministry of Health; 1980. 337 p. Russian.
5. Kuznetsov AV, et al. *Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu soderzhaniya strontsiya-90 i tseziya-137 v pochvakh i rasteniyakh* [Methodological guidelines for determining the content of strontium-90 and cesium-137 in soils and plants: methodological guidelines for radiological control]. Moscow: [publisher unknown]; 1985. Russian.

Статья поступила в редколлегию 26.01.2026.
Received by editorial board 26.01.2026.

УДК 547:539.1.04:621.039.586:502.3

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОЛОКА И КАРТОФЕЛЯ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ В ЛИЧНЫХ ПОДСОБНЫХ ХОЗЯЙСТВАХ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Е. В. НИКОЛАЕНКО¹⁾, Е. Н. ПОПОВА¹⁾

¹⁾Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья,
ул. Академическая, 8, 220012, г. Минск, Беларусь

В исследовании представлены результаты анализа уровней содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных производимых населением пищевых продуктах (молоке и картофеле) из личных подсобных хозяйств населенных пунктов, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения Гомельской, Могилевской и Брестской областей в 2013–2025 гг. Изучение вопроса проводилось с помощью данных радиационного контроля и радиационно-гигиенического мониторинга, выполненных учреждениями государственного санитарного надзора Министерства здравоохранения Республики Беларусь. Превышения нормативов содержания ^{137}Cs в картофеле и молоке были зарегистрированы только в 2013–2022 гг. в единичных пробах из отдельных населенных пунктов (1–10 населенных пунктов в год). В основном, превышения нормативов содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в данных продуктах были зарегистрированы в населенных пунктах Гомельской обл. в Брагинском, Добрушском, Чечерском, Хойникском и Наровлянском р-нах, а также в Бельничском и Краснопольском р-нах Могилевской обл. С 2023 г. превышения нормативов содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле зафиксированы не были, при этом с 2023 г. превышения нормативов их содержания были установлены только в овощах и ягодах из личных подсобных хозяйств Гомельской обл.: ^{137}Cs – в 2 пробах зелени и 2 пробах клубники из 2 населенных пунктов; ^{90}Sr – в 24 пробах моркови и свеклы из 10 населенных пунктов. По данным 2018–2022 гг. выполнена оценка 75-го перцентиля, средних и максимальных удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле из личных подсобных хозяйств. Установлено, что в большинстве районов 75-й перцентиль удельной активности ^{137}Cs составил в молоке – до 15 Бк/кг, картофеле – до 20 Бк/кг, а ^{90}Sr – в молоке – до 2 Бк/кг, картофеле – до 1,5 Бк/кг. В отдаленный период после катастрофы на Чернобыльской АЭС радиологическая ситуация на протяжении 10 лет остается стабильной, отсутствует выраженная динамика в изменении уровней средней удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах, производимых населением в личных подсобных хозяйствах. При этом периодически регистрируются единичные случаи превышений действующих нормативов – референтных уровней содержания радионуклидов в молоке, что не зависит от плотности радиоактивного загрязнения территории и в большей степени обусловлено особенностями ведения домашнего хозяйства населением, а также геохимическими особенностями почв.

Ключевые слова: катастрофа на ЧАЭС; продукт питания; радионуклид; радиационно-гигиенический мониторинг; радиационный контроль.

Образец цитирования:

Николаенко ЕВ, Попова ЕН. Результаты радиационно-гигиенического мониторинга молока и картофеля, произведенных в личных подсобных хозяйствах в зонах радиоактивного загрязнения. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2026;1:108–117.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-108-117>

For citation:

Nikalayenka AU, Popova EN. The results of radiation-hygienic monitoring of milk and potatoes produced in local farms in radioactive contaminated zones. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2026;1:108–117. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-1-108-117>

Авторы:

Елена Владимировна Николаенко – кандидат медицинских наук; заведующий лабораторией радиационной безопасности.

Екатерина Николаевна Попова – ведущий специалист лаборатории радиационной безопасности.

Authors:

Alena U. Nikalayenka, PhD (medicine); head at the laboratory of radiation safety.

nikolaenko67@gmail.com

Ekaterina N. Popova, leading specialist at the laboratory of radiation safety.

katia.popova6791@gmail.com

THE RESULTS OF RADIATION-HYGIENIC MONITORING OF MILK AND POTATOES PRODUCED IN LOCAL FARMS IN RADIOACTIVE CONTAMINATED ZONES

A. U. NIKALAYENKA^a, E. N. POPOVA^a

^aRepublican Center of Hygiene, Epidemiology and Public Health,
8 Akademichnaja Street, Minsk 220012, Belarus

Corresponding author: A. U. Nikalayenka (nikolaenko67@gmail.com)

The estimation of ^{137}Cs and ^{90}Sr specific activity levels in food personal households that the most consumed of rural belarusian population (milk and potatoes) on the radioactive contamination zones of the Gomel, Mogilev, Brest regions of the Republic of Belarus in 2013–2025 have been done. The radiation-hygienic monitoring in personal household results of state sanitary supervision data have been used for analysis in the article. The reference levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in food were exceed only in 2013–2022 in few samples of potatoes and milk from some settlements (1–10 settlements annually) only in the Bragin, Dobrush, Chechersk, Khoyniki and Narovlya districts of Gomel region and Belynychy and Krasnopolye districts of Mogilev region. Since 2023 the reference levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in milk and potatoes were not exceed but in some samples of vegetables and berries in the Gomel region the excesses of reference levels have been registered in 28 samples: ^{137}Cs – in 2 samples of greens and 2 samples of strawberries from 2 settlements; ^{90}Sr – in 24 samples of carrots and beets from 10 settlements. The number of settlements and samples in which the ^{137}Cs and ^{90}Sr reference levels were exceed and specific activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in milk and potatoes (average, maximum, 75th percentile) from personal household in 2018–2022 have been assessed. The 75th percentile of the ^{137}Cs specific activity in the most regions of the Republic of Belarus were: milk – up to 15 Bq/kg, potatoes – up to 20 Bq/kg, as well as ^{90}Sr : milk – up to 2 Bq/kg, potatoes – up to 1.5 Bq/kg. On the modern stage after the Chernobyl accident the radiological situation for last 10 years is stable, dynamic of the average specific activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr levels in local food were unchanging, the current reference levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr specific activity in milk were exceed only in some cases which does not depend on the radioactive contamination density of the settlements and depend on the peculiarities of personal household management and the geo-chemical characteristics of the soils.

Keywords: Chernobyl NPP accident; food; radionuclide; radiation-hygienic monitoring; radiation control.

Введение

В отдаленный период после катастрофы на Чернобыльской АЭС (далее – ЧАЭС), спустя 40 лет в зоне радиоактивного загрязнения сложилась ситуация, когда уровни радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных пищевых продуктов практически всегда соответствуют критериям радиационной безопасности (РДУ-99, ГН-2022), но при этом все еще актуально проведение радиационного контроля и радиационно-гигиенического мониторинга пищевых продуктов.

В ситуации существующего облучения проводятся основные защитные мероприятия – радиационный мониторинг и информирование населения об уровнях существующего радиоактивного загрязнения окружающей среды, мест проживания населения и производимой на данной территории продукции. Причем большее внимание уделяется радиационному мониторингу, который включает контроль за радиоактивным загрязнением окружающей среды и дозами облучения населения, проживающего на данной территории. Радиационная обстановка не меняется на протяжении многих лет, остается стабильной, при этом уровни радиоактивного загрязнения почвы снижаются преимущественно из-за радиоактивного распада радионуклидов, а уровни загрязнения пищевых продуктов остаются весьма низкими в связи с эффективным использованием сельскохозяйственных защитных мероприятий в крупных сельхозпредприятиях [1; 2]. Многолетние данные Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь подтверждают очень низкие уровни загрязнения продукции, производимой в общественном секторе.

Подразделениями Министерства здравоохранения Республики Беларусь – учреждениями государственного санитарного надзора (далее – госсаннадзор) в соответствии с Положением о контроле радиоактивного загрязнения, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 20 февраля 2020 г. № 102, осуществляется радиационно-гигиенический мониторинг (далее – РГМ) и радиационный контроль пищевых продуктов.

Превышений гигиенических нормативов РДУ-99 по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных пищевых продуктах, производимых в общественном секторе, не выявлено, что свидетельствует об эффективности проводимых защитных мероприятий и стабилизации уровней содержания радионуклидов в пищевых продуктах.

Учреждения госсаннадзора проводят РГМ и РК пищевых продуктов из личных подсобных хозяйств (далее – ЛПХ) населения, при этом основными контролируемыми продуктами являются молоко, картофель

и овощи, садовые ягоды и др., а также дикорастущие ягоды, грибы, речная рыба и дичь. По данным учреждений госсаннадзора, в период с 2018 по 2025 гг. количество проб пищевых продуктов из ЛПХ и количество населенных пунктов (далее – НП), в которых были обнаружены превышения установленных нормативов, с каждым годом сокращается.

Превышения нормативов по содержанию ^{137}Cs в молоке были выявлены в 9 НП, в том числе в 7 НП Гомельской и 2 НП Могилевской областей, по содержанию ^{90}Sr в 6 НП Гомельской области и только в период 2018–2022 гг. В 2023–2025 гг. превышений нормативов по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле обнаружено не было, однако в отдельных хозяйствах из НП Гомельской обл. были зафиксированы превышения нормативов по содержанию ^{137}Cs в 2 пробах зелени и 2 пробах клубники из 2 НП Кормянского района, а по содержанию ^{90}Sr – в 12 пробах моркови и в 12 пробах свеклы из 10 НП Гомельского и Брагинского р-нов.

Таким образом, в отдаленный период после катастрофы на ЧАЭС, актуальным остается отслеживание радиационной обстановки на данных территориях, снижение объемов радиационного контроля и мониторинга, переход к мониторингу и использование современных более чувствительных методов исследований содержания радионуклидов в продуктах питания.

Материалы и методы исследования

При проведении РГМ пищевой продукции учреждения госсаннадзора руководствуются нормативными правовыми актами и техническими нормативными правовыми актами Республики Беларусь, в том числе Правилами радиационно-гигиенического мониторинга радиоактивного загрязнения пищевых продуктов, производимых гражданами для собственного потребления, а также дикорастущих растений и (или) их частей, продукции охоты и рыболовства, используемых гражданами для собственного потребления, утвержденными приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 14 декабря 2020 г. № 1333, которые на основании наличия случаев превышения нормативов содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах (молока) из ЛПХ, установленных в предыдущие периоды наблюдений, определяют выбор контрольных НП, периодичность проведения наблюдений в данных НП и перечень исследуемых пищевых продуктов.

По данным учреждений госсаннадзора, выполнен анализ результатов исследований содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в наиболее употребляемых населением продуктах (молоко, картофель) из 1273 НП Гомельской, Брестской и Могилевской областей, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения с различной плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs – от менее 1 Ки/км² до 15 Ки/км² [3].

Анализ данных о количестве проб и НП, в которых регистрировались превышения нормативов, выполнен за период 2013–2025 гг., а статистическая обработка данных об уровнях содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в данных продуктах (средних, максимальных, 75-й перцентиль) выполнена за период 2018–2022 гг.

При оценке соответствия удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле гигиеническим нормативам использовались:

– до 2022 г. включительно – республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr , установленные гигиеническим нормативом ГН 10-117-99 «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)», утвержденным постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 26 апр. 1999 г. № 16 (в ред. постановления от 16 апр. 2001 г. № 26)¹:

- ^{137}Cs – молоко – 100 Бк/кг; картофель – 80 Бк/кг;
- ^{90}Sr – молоко, картофель – 3,7 Бк/кг;

– при оценке результатов исследований 2023–2025 гг. – референтные уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr (далее – РУ), установленные гигиеническим нормативом «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 янв. 2021 г. № 37 (в ред. постановления Совета Министров Республики Беларусь от 29 нояб. 2022 г. № 829) (далее – ГН-2022)²:

- ^{137}Cs – молоко – 100 Бк/кг; картофель – 80 Бк/кг;
- ^{90}Sr – молоко, картофель – 5 Бк/кг.

Данные учреждений госсаннадзора о содержании ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах из ЛПХ проанализированы по областям (Брестская, Гомельская и Могилевская) по следующим показателям:

¹О введении Республиканских допустимых уровней содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99) : постановление Гл. гос. санитар. врача Респ. Беларусь от 26.04.1999 № 16 : в ред. постановления 16.04.2001 № 26 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск: [б. и.]; 2002.

²Критерии оценки радиационного воздействия : гигиен. норматив : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 янв. 2021 г. № 37 : в ред. постановления Совета Министров Республики Беларусь от 29 ноября 2022 г. № 829 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск: [б. и.]; 2023.

- установлено количество НП, число проб пищевых продуктов (молока, картофеля), в которых были зарегистрированы превышения РУ содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в период 2018–2025 гг.;
- определены средние и максимальные уровни удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле по годам, районам и областям за период с 2018 по 2022 г.;
- рассчитаны 75-е перцентили содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле для районов Гомельской, Брестской и Могилевской областей.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам анализа данных учреждений госнадзора за 13 последних лет (2013–2025 гг.) в сельскохозяйственной продукции, производимой населением, превышения содержания ^{137}Cs регистрировались очень редко и их количество значительно уменьшилось к 2022 г. Так, если в 2013–2014 гг. количество НП, в которых были зарегистрированы превышения РДУ-99 по содержанию ^{137}Cs в молоке (более 100 Бк/кг), составило 10 НП, то в 2018–2022 гг. превышения регистрировались только в 1–3 НП Гомельской обл. ежегодно, а в 2023–2025 гг. таких превышений не зарегистрировано (табл. 1).

Таблица 1

Количество НП, где зарегистрированы превышения норматива содержания ^{137}Cs в молоке (100 Бк/кг) из ЛПХ по областям за 2013–2025 гг.

Table 1

Settlements number in which reference levels ^{137}Cs and ^{90}Sr in milk samples have been exceeded in regions in 2013–2025

Область	Годы												
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Брестская	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Гомельская	8	9	5	4	0	3	0	2	0	3	0	0	0
Могилевская	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Итого	10	10	8	6	1	3	0	2	2	3	0	0	0

С 2018 по 2022 гг. в молоке из ЛПХ были установлены случаи превышения нормативов РДУ-99. Содержание ^{137}Cs (100 Бк/кг) превысило нормативы только в 14 пробах из 9 НП Гомельской и Могилевской обл., содержание ^{90}Sr (3,7 Бк/кг) – в 10 пробах из 6 НП Гомельской обл., а с 2023 по 2025 г. превышений нормативов в молоке не зафиксировано (табл. 2).

Таблица 2

Количество НП и проб молока, в которых были зарегистрированы превышения РУ ^{137}Cs и ^{90}Sr 2018–2025 гг.

Table 2

Settlements and milk samples number in which reference levels ^{137}Cs and ^{90}Sr have been exceeded in 2018–2025

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	2023–2025	Всего за период
Всего количество НП, в том числе*:	5	2	4	2	3	0	15*
Цезий-137	3	0	2	2	3	0	10
Стронций-90	2	2	2	0	0	0	6
Всего количество проб, в том числе:	10	2	5	4	3	0	24
Цезий-137	4	0	3	4	3	0	14
Стронций-90	6	2	2	0	0	0	10

*Итоговое количество НП определено исходя из того, что в некоторых НП превышения нормативов повторялись в разные годы и были установлены в нескольких пробах.

Превышения норматива содержания ^{137}Cs (более 100 Бк/кг) в молоке в 1,2–2,7 раза наблюдались в следующих НП Гомельской обл.: д. Маложин (2 пробы, 2018 г., макс. – 129,4 Бк/кг) и г. п. Комарин (2020 г. – 138,6 Бк/кг) Брагинского р-на; г. Добруш Добрушского р-на (2018 г. – 117,3 Бк/кг); г. Чечерск Чечерского р-на (2018 г. – 150,3 Бк/кг; 2022 г. – 137,1 Бк/кг); д. Козелужье Хойникского р-на (2 пробы, 2020 г., макс. – 128,1 Бк/кг); д. Ковака Брагинского р-на (2022 г. – 113,2 Бк/кг); д. Вербовичи Наровлянского р-на (2022 г. – 265,8 Бк/кг), а также в НП Могилевской области: д. Большая Мощаница Бельничского р-на (2021 г. – 111,8 Бк/кг) и д. Выдренка Краснопольского р-на (3 пробы, 2021 г., макс. – 226,9 Бк/кг).

Следует отметить, что наибольшее количество исследованных проб пищевой продукции из ЛПХ в рамках программы РГМ составляло молоко – 50–80 % из всех исследованных проб в области.

По областям средние годовые уровни содержания ^{137}Cs в молоке в Гомельской и Брестской областях колебались незначительно и составляли 5,9–6,9 Бк/кг (при нормативе 100 Бк/кг), а в Могилевской обл. за анализируемый период изменялись с 1,9 до 14,4 Бк/кг, что связано с тем, что в 2021 г. в 4 пробах молока из Краснопольского и Бельничского р-нов Могилевской обл. были обнаружены превышения норматива содержания ^{137}Cs в 1,1–2,2 раза (111,8–226,9 Бк/кг). Средняя удельная активность ^{137}Cs в пробах из Брестской обл. несколько возросла к 2025 г. с 7,5 до 14,2 Бк/кг, что связано с изменениями методов исследований и требует дополнительного анализа (рис. 1).

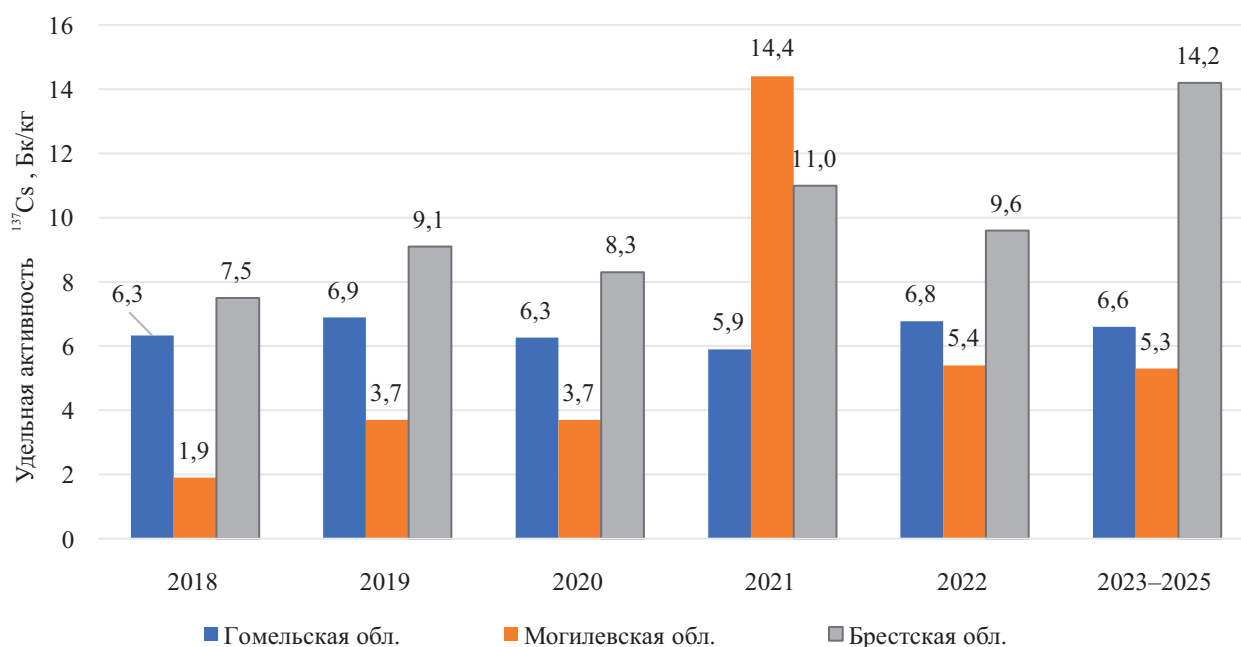


Рис. 1. Средние значения удельной активности ^{137}Cs в молоке по областям в 2018–2025 гг.

Fig. 1. Average values of ^{137}Cs specific activity in milk by regions in 2018–2025

Более высокие значения средней удельной активности ^{137}Cs в Брестской области были связаны с более высоким МДА используемых методов и большей погрешностью измерений.

В большинстве районов значения 75-го перцентиля удельной активности ^{137}Cs в молоке составляли не более 16–18 Бк/кг. При этом наибольшие значения 75-го перцентиля (более 15 Бк/кг) были установлены в Чечерском (41,5 Бк/кг), Добрушском (32,8 Бк/кг), Наровлянском (28,2 Бк/кг) р-нах Гомельской обл., Краснопольском р-не (27,4 Бк/кг) Могилевской обл. и Столинском р-не (20,9 Бк/кг) Брестской обл., что указывает на большие удельные активности ^{137}Cs в исследованных пробах по сравнению с другими районами (рис. 2).

В 2018–2022 гг. в молоке превышения нормативов содержания ^{90}Sr (3,7 Бк/кг) были зарегистрированы только в Гомельской обл. в 10 пробах в 6 НП: д. Новая Гребля (2 пробы, 2018 г., макс. – 4,5 Бк/кг), д. Шкураты (4 пробы, 2018 г., макс. – 8,2 Бк/кг), д. Верхние Жары (2019 г. – 4,1 Бк/кг) Брагинского р-на; д. Звенятское (2019 г. – 4,5 Бк/кг), д. Небытов (2020 г. – 4,4 Бк/кг) и д. Новоселки (2020 г. – 5,1 Бк/кг) Хойникского р-на. Максимальное значение составило 8,2 Бк/кг, а максимальное среднее значение – 1,49 Бк/кг (табл. 3).

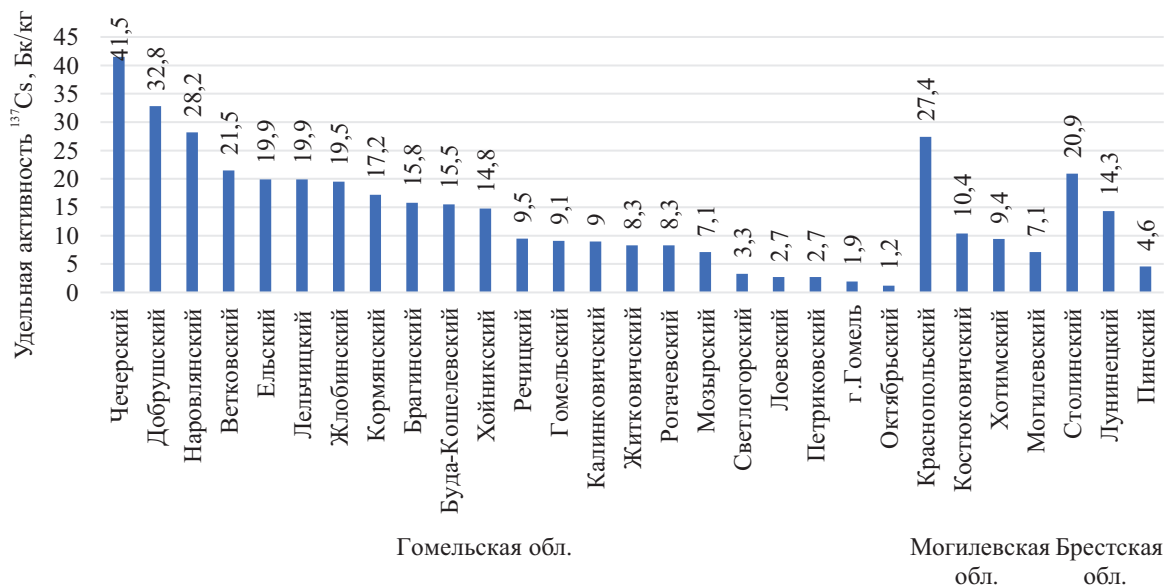


Рис. 2. Удельная активность ^{137}Cs (75-й перцентиль) в молоке по районам Гомельской, Могилевской и Брестской обл. за 2018–2022 гг.

Fig. 2. ^{137}Cs specific activity (75-percentile) in milk by districts in Gomel, Mogilev and Brest regions in 2018–2022

Таблица 3

Динамика удельной активности ^{90}Sr в молоке из НП Гомельской обл. в 2018–2022 гг. (по данным РГМ)

Table 3

Dynamics of ^{90}Sr specific activity in milk from settlements of the Gomel region in 2018–2022 (radiation-hygienic monitoring data)

Годы	Удельная активность ^{90}Sr , Бк/кг		Количество проб с превышением норматива
	Среднее	Максимальное	
2018	1,37	8,2	6
2019	1,49	4,5	2
2020	1,37	5,1	2
2021	0,94	3,6	–
2022	0,69	2,0	–
Итого	1,17	8,2	10

По областям средние удельные активности ^{90}Sr в Гомельской обл. колебались от 0,7 до 1,5 Бк/кг, в Брестской обл. – в пределах 1,2–1,5 Бк/кг (при нормативе 3,7 Бк/кг). При этом в Брестской обл. в большинстве проб молока значения удельной активности ^{90}Sr не превышали минимальной детектируемой активности (далее – МДА) метода, а в Могилевской обл. было недостаточное количество исследованных проб для статистического анализа и все представленные данные не превышали МДА метода, что не позволило их проанализировать (рис. 3).

Значения средней удельной активности ^{90}Sr в пробах молока, отобранных в НП, расположенных на загрязненных ^{90}Sr территориях Гомельской обл., изменялись в широких пределах и составляли от 0,4 Бк/кг в НП Мозырского р-на до 1,5 Бк/кг в НП Брагинского р-на. Максимальные значения удельной активности ^{90}Sr в пробах молока варьировали от 0,5 Бк/кг в НП Жлобинского р-на до 8,20 Бк/кг в д. Шкураты Брагинского р-на (табл. 3, рис. 4).

Удельные активности ^{90}Sr в пробах молока из Гомельской обл., в которых отмечены превышения норматива (3,7 Бк/кг), составили от 4,0 до 8,2 Бк/кг и были зарегистрированы в НП с плотностью загрязнения ^{90}Sr от 0,33 до 0,68 Ки/км² (выше 0,15 Ки/км²) (рис. 5).

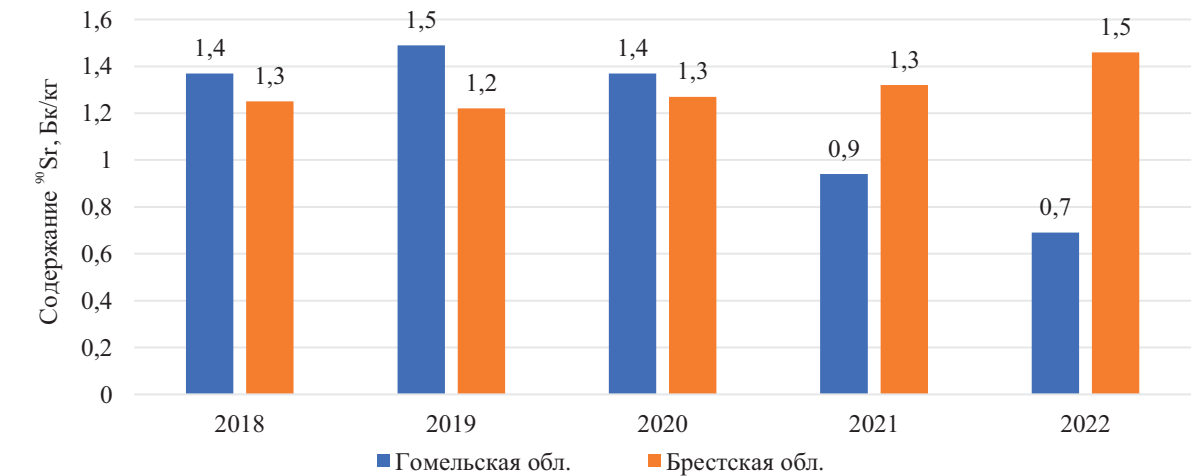


Рис. 3. Средние значения содержания ^{90}Sr в молоке по областям в 2018–2022 гг.
Fig. 3. Average values of specific activity of ^{90}Sr in milk by regions in 2018–2022

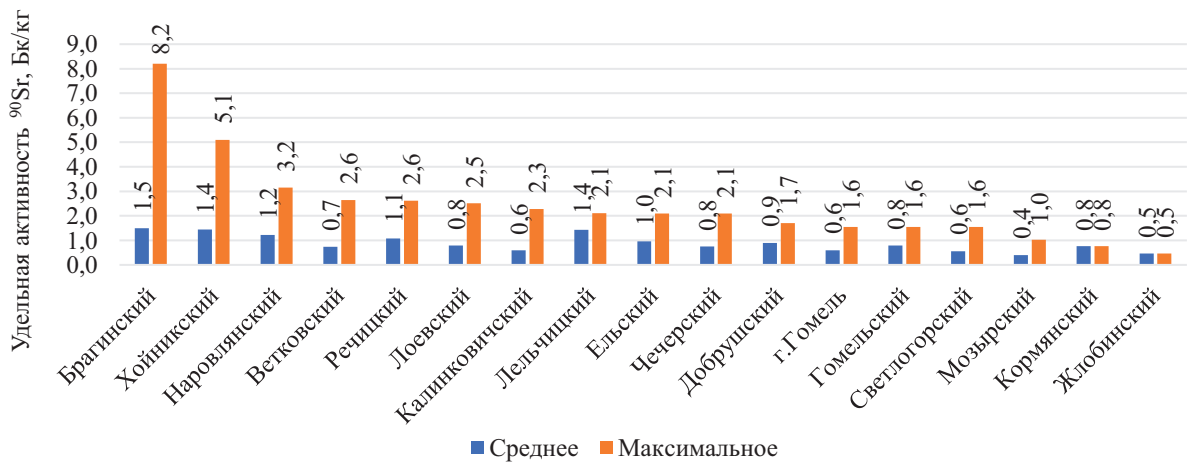


Рис. 4. Средние и максимальные значения удельной активности ^{90}Sr в молоке по районам Гомельской обл. в 2018–2022 гг.
Fig. 4. Average and maximum values of specific activity of ^{90}Sr in milk by districts of the Gomel region in 2018–2022

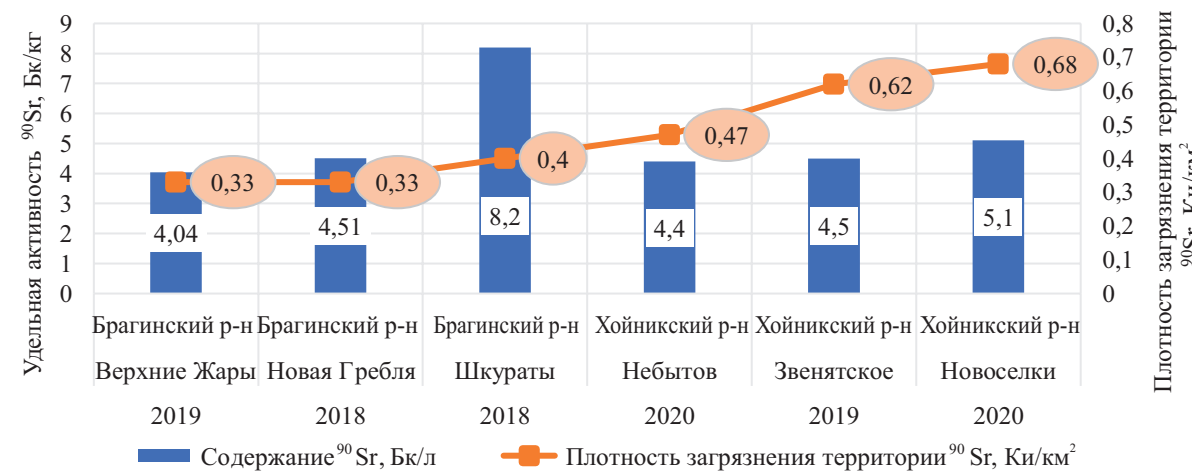


Рис. 5. Максимальные уровни загрязнения ^{90}Sr молока (Бк/кг) и плотность загрязнения ^{90}Sr (Ки/км²) территории НП в Гомельской обл.
Fig. 5. Maximum levels of ^{90}Sr contamination of milk (Bq/kg) and density of ^{90}Sr contamination (Ci/km²) of the territory of settlements in the Gomel region

В 2018–2022 гг. превышений нормативов содержания ^{137}Cs в картофеле не зафиксировано, при этом средние значения содержания ^{137}Cs находились на уровне значительно ниже норматива (80 Бк/кг) и изменялись в пределах от 3,8 Бк/кг (в 2019 г.) до 16,9 Бк/кг (в 2021 г.).

Средние значения удельной активности ^{137}Cs в пробах картофеля из Гомельской и Брестской обл. изменялись от 3,8 до 9,1 Бк/кг и от 6,4 до 6,8 Бк/кг соответственно, а в Могилевской обл. – от 4,9 до 16,9 Бк/кг, что может быть связано с изменениями методов исследований и требует дополнительного анализа (рис. 6). В 2021 г. среднее содержание ^{137}Cs в пробах картофеля из Могилевской обл. составило 16,9 Бк/кг, так как в пробе картофеля из д. Выдренка Мхиничского сельсовета Краснопольского р-на было зафиксировано содержание ^{137}Cs на уровне – 32,4 Бк/кг.

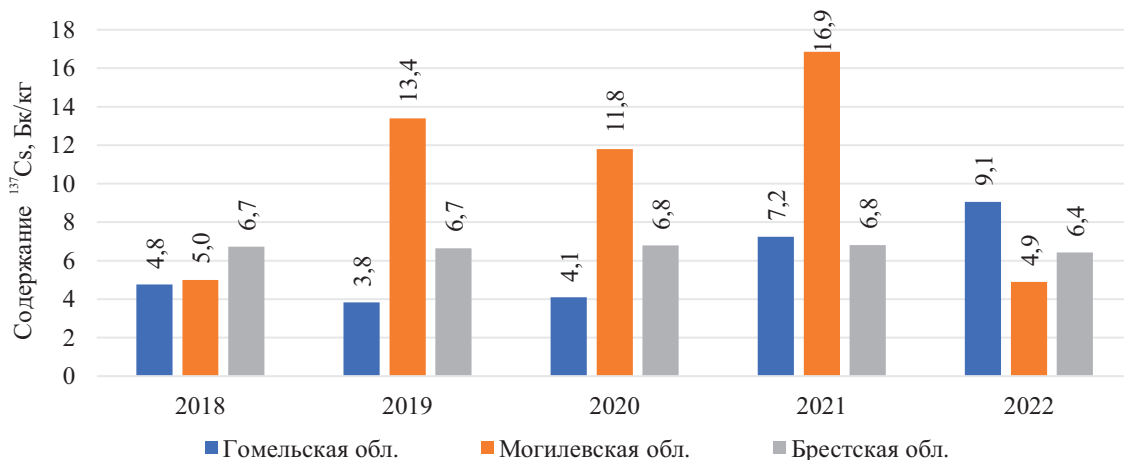


Рис. 6. Средние значения содержания ^{137}Cs в картофеле за период 2018–2022 гг.

Fig. 6. Average values of ^{137}Cs specific activity in potato by regions in 2018–2022

В большинстве районов значения 75-го перцентиля удельной активности ^{137}Cs в картофеле составляли не более 10–19 Бк/кг. При этом наибольшие значения 75-го перцентиля (более 15 Бк/кг) были установлены в Чечерском (57 Бк/кг), Буда-Кошелевском (32,3 Бк/кг), Речицком (21,8 Бк/кг), Калинковичском (20,8 Бк/кг) и Светлогорском (20,8 Бк/кг), Кормянском (19,1 Бк/кг) и Наровлянском (17 Бк/кг) р-нах Гомельской обл., Мстиславском (31,2 Бк/кг) и Краснопольском (17,5 Бк/кг) р-нах Могилевской обл., что указывает на большие удельные активности ^{137}Cs в исследованных пробах по сравнению с другими районами (рис. 7). Во всех пробах картофеля из Брестской обл. удельные активности ^{137}Cs не превышали МДА метода, в связи с чем обработать данные не представлялось возможным.

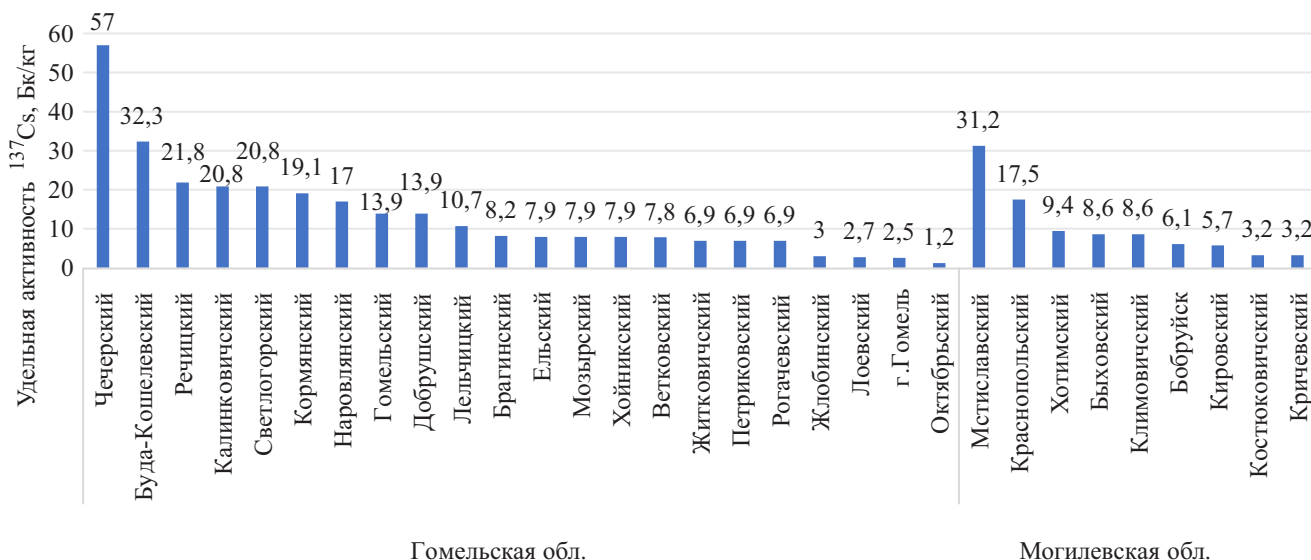


Рис. 7. Удельная активность ^{137}Cs (75-й перцентиль) в картофеле по районам Гомельской, и Могилевской обл. за 2018–2022 гг.

Fig. 7. ^{137}Cs specific activity (75-percentile) in potato by district Gomel and Mogilev regions in 2018–2022

За 2018–2022 гг. в картофеле превышений нормативов содержания ^{90}Sr (3,7 Бк/кг) не обнаружено. Средние значения удельной активности ^{90}Sr в пробах картофеля из Гомельской обл. в исследуемый период уменьшились от 1,2 Бк/кг в 2018 г. до 0,7 Бк/кг (в 2022 г.) соответственно, максимальные уровни также изменялись от 3,0 Бк/кг (2018 г.) до 2,0 Бк/кг (2022 г.). В картофеле из Брестской обл. удельная активность ^{90}Sr также уменьшилась с 3,6 Бк/кг в 2018 г. до 2 Бк/кг (2022 г.), при этом следует отметить, что в большинстве проб картофеля из Брестской обл. содержание ^{90}Sr не превышало МДА метода (рис. 8). В обеих исследованных на содержание ^{90}Sr пробах картофеля из Могилевской обл. удельная активность ^{90}Sr также не превышала МДА метода, поэтому анализ данных проб не проводился.

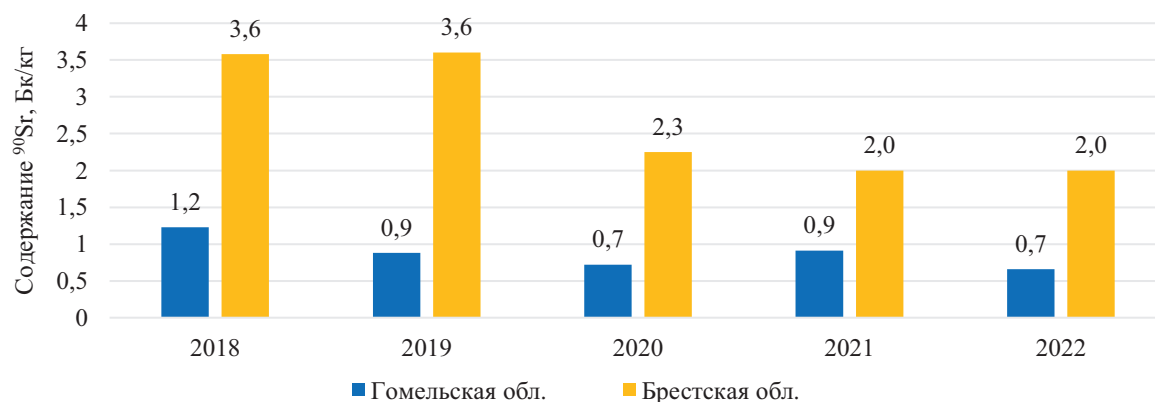


Рис. 8. Средние значения содержания ^{90}Sr в картофеле за период 2018–2022 гг.

Fig. 8. Average values of ^{90}Sr specific activity in potato by regions in 2018–2022

Более высокие значения средней удельной активности ^{90}Sr в Брестской обл. были связаны с более высоким МДА используемых методов и большей погрешностью измерений.

За исследуемый период наибольшее среднее значение удельной активности ^{90}Sr в картофеле было зафиксировано в пробах из Речицкого (1,12 Бк/кг) и Хойникского (1,04 Бк/кг) р-нов Гомельской обл. Максимальное значение содержания ^{90}Sr в картофеле также было выявлено в пробе из Хойникского р-на (3,0 Бк/кг) (рис. 9).

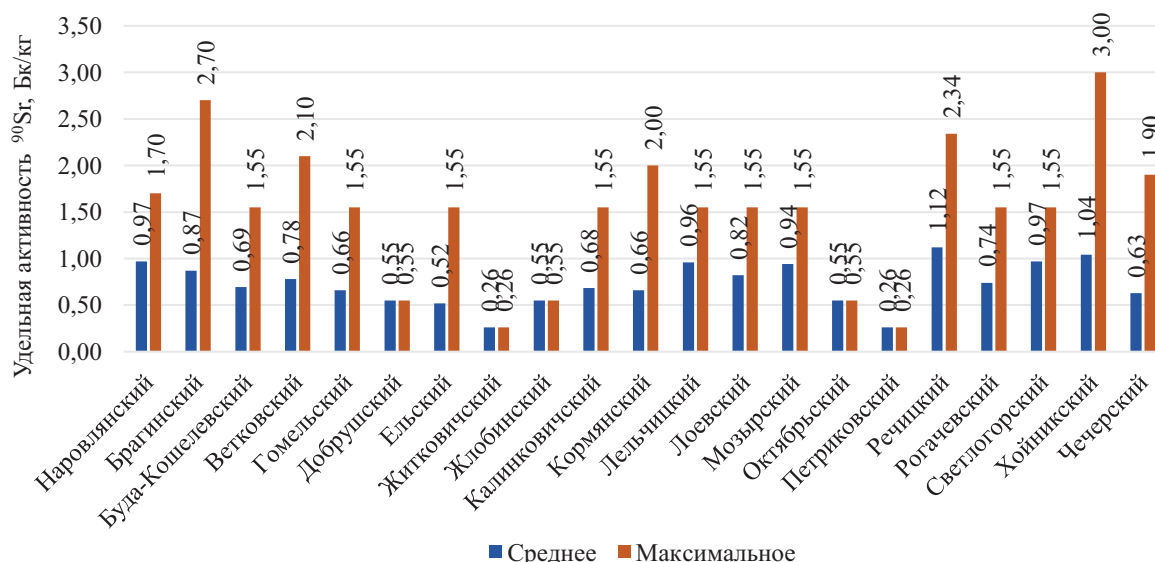


Рис. 9. Средние и максимальные значения удельной активности ^{90}Sr в картофеле по районам Гомельской обл. в 2018–2022 гг.

Fig. 9. Average and maximum values of ^{90}Sr specific activity in potato by districts of the Gomel region in 2018–2022

Закключение

По результатам исследований установлены средние уровни удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в наиболее употребляемых населением продуктах (молоке и картофеле), произведенных в ЛПХ в различных районах Гомельской, Брестской и Могилевской областей. Более высокие значения средней удельной

активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в Брестской обл. были связаны с более высоким МДА используемых методов и большей погрешностью измерений.

За анализируемый период не отмечено тенденции к снижению или увеличению удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах, ситуация остается стабильной, но периодически выявляются пробы с превышением нормативов содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr , что не зависит от плотности радиоактивного загрязнения территории и в большей степени обусловлено особенностями ведения домашнего хозяйства населением, а также геохимическими особенностями почв. В основном, случаи превышения нормативов содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке в 2018–2022 гг. были установлены буквально в 15 НП, в том числе в 13 НП из Брагинского, Добрушского, Чечерского, Хойникского и Наровлянского р-нов Гомельской обл. и в 2 НП Бельничского и Краснопольского р-нов Могилевской обл. В 2023–2025 гг. превышений нормативов по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле обнаружено не было.

Сложившаяся радиационная обстановка и уровни радиоактивного загрязнения пищевых продуктов из ЛПХ указывают на необходимость продолжения радиационного мониторинга в ситуации существующего облучения с использованием более точных методов исследования, но при этом имеется возможность снижения объемов исследований для целей радиационного контроля и мониторинга, проводимых учреждениями госнадзора в НП в зоне радиоактивного загрязнения.

Библиографические ссылки

1. 30 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий. Национальный доклад. Минск: Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь; 2016. 116 с.
2. Беларусь и Чернобыль – 36 лет [Интернет, процитировано 23 марта 2026]. URL: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/1fb/belarus-i-chernobyl.-36-let>.
3. Израэль ЮА, Богдевич ИМ, редакторы. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси. Москва: Фонд «Иносфера»; Минск: РУП «Белкартография»; 2009. 140 с.

References

1. 30 let chernobyl'skoi avarii: itogi i perspektivy preodoleniya ee posledstviy [30 years of the Chernobyl accident: results and prospects for overcoming its consequences. National report]. Minsk: Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus; 2016. 116 p. Russian.
2. Belarus and Chernobyl – 36 years [Internet, cited 2026 March 27]. Available from: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/1fb/belarus-i-chernobyl.-36-let>. Russian.
3. Israel YuA, Bogdevich IM, editors. Atlas sovremennykh i prognoznykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoi AES na postradavshikh territoriyakh Rossii i Belarusi [Atlas of modern and forecast aspects of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in the affected territories of Russia and Belarus]. Moscow: Foundation «Inosphere»; Minsk: RUE «Belkartografiya»; 2009. 140 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 27.02.2026.
Received by editorial board 27.02.2026.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Луговская О. М.</i> К 40-летию катастрофы на Чернобыльской АЭС	4
---	---

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

<i>Борисевич Н. Я.</i> Становление и развитие системы информирования населения Беларуси после чернобыльской катастрофы	6
--	---

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Лозинская О. В., Князева З. Я.</i> Фитоиндикационная оценка экологического статуса территорий по цитогенетическим показателям	13
--	----

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Журавков В. В., Цыбулько Н. Н., Ласута Г. Ф., Журавков Е. В.</i> Геоинформационное моделирование загрязнения территории основными дозообразующими радионуклидами: ретроспектива, современное состояние, прогноз (на примере Гомельской обл.)	24
<i>Вялкина Н. Н., Федосенко О. Л., Медведева Е. А.</i> Влияние локального облучения на образование опухолей в легких мышей линии Af	38
<i>Карбанович Л. Н.</i> Радиационная обстановка на территории лесного фонда: результаты контроля радиоактивного загрязнения	46
<i>Аверин В. С., Цуриков А. Г., Михайлов А. В.</i> Содержание трития в лишайниках зоны планирования срочных защитных мероприятий Белорусской АЭС	55
<i>Кудин М. В., Казаков А. С., Павлов Д. Е.</i> Национальные подходы и решения организации зоны эвакуации (отчуждения) и Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в постчернобыльский период	62

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Чайкова Ю. В., Вялкин И. В.</i> Риск злокачественных новообразований в зависимости от поглощенной дозы у персонала Полесского государственного радиационно-экологического заповедника	79
--	----

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Цыбулько Н. Н., Шмелева Е. В.</i> Социально-экономические последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС для Республики Беларусь	88
<i>Стреляева З. В., Бардюкова А. В.</i> Совершенствование методики выполнения измерений удельной и объемной активности ⁹⁰ Sr в кормах, продуктах питания, продукции животноводства и воде	99
<i>Николаенко Е. В., Попова Е. Н.</i> Результаты радиационно-гигиенического мониторинга молока и картофеля, произведенных в личных подсобных хозяйствах в зонах радиоактивного загрязнения	108

CONTENTS

<i>Lugovskaya O. M.</i> To the 40 th anniversary of the Chernobyl disaster	4
---	---

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

<i>Barysevich M. Ya.</i> Formation and development of the system of informing the population of Belarus after the chernobyl disaster.....	6
---	---

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

<i>Lozinskaya O. V., Knyazeva Z. Ya.</i> Application of cytogenetic indicators for bioindicative assessment of the environmental status of territories exposed to radiation	13
---	----

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

<i>Zhuravkov V. V., Tsybulka M. M., Lasuta G. F., Zhuravkov E. V.</i> Geoinformation modeling of pollution of the territory with the main dose-forming radionuclides: retrospective, current state (on the example of the Gomel region).....	24
<i>Veyalkina N. N., Fedosenko O. L., Miadzvedzeva A. A.</i> The effect of local irradiation on lung tumor formation in Af mice	38
<i>Karbanovitch L. N.</i> Radiation situation in the forest fund territory: radioactive contamination monitoring results	46
<i>Averyn V. S., Tsurykau A. G., Mikhailov A. V.</i> Tritium content in lichens in the emergency protective action planning zone of the Belarusian nuclear power plant	55
<i>Kudzin M. V., Kazakov A. S., Pavlov D. E.</i> National approaches and solutions to the organization of the evacuation zone (exclusion) and the Polesie state radiation-ecological reserve in the post-chernobyl period	62

MEDICAL ECOLOGY

<i>Chaikova Yu. V., Veyalkin I. V.</i> Risk of malignant neoplasms depending on the absorbed dose in the personnel of the Polesie state radiation-ecological reserve.....	79
---	----

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

<i>Tsybulka M. M., Shmeleva E. V.</i> Socio-economic consequences of the Chernobyl nuclear power plant disaster for the Republic of Belarus.....	88
<i>Straliayeva Z. V., Bardyukova A. V.</i> Improvement of methodological approaches for the determination of specific and volumetric activities of ⁹⁰ Sr in feeds, food products, animal foods and water	99
<i>Nikalayenka A. U., Popova E. N.</i> The results of radiation-hygienic monitoring of milk and potatoes produced in local farms in radioactive contaminated zones	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.
№ 1. 2026**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
220030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1,
220070, Минск.

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

www.iseu.bsu.by

E-mail: jecology@bsu.by

«Журнал Белорусского государственного
университета. Экология» издается с сентября 2017 г.
До августа 2017 г. выходил под названием
«Экологический вестник»
(ISSN 1994-2087).

Редактор *Л. М. Корневская*
Технический редактор *М. Ю. Мошкова*
Корректор *Л. М. Корневская*

Подписано в печать 30.03.2026.
Тираж 100 экз. Заказ 574.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

© БГУ, 2026

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 1. 2026**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
220030, Minsk.

Correspondence address: 23/1 Daŭhabrodskaja Str.,
220070, Minsk.

Tel. 398-89-34, 398-93-44.

www.iseu.bsu.by

E-mail: jecology@bsu.by

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»
published since September, 2017.
Until August, 2017 named «Ekologičeskii vestnik»
(ISSN 1994-2087).

Editor *L. M. Korenevskaya*
Technical editor *M. Yu. Moshkova*
Proofreader *L. M. Korenevskaya*

Signed print 30.03.2026.
Edition 100 copies. Order number 574.

RUE «Information Computing Center of the Ministry
of Finance of the Republic of Belarus».
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.
17 Kalvaryjskaya Str., 220004, Minsk.

© BSU, 2026