

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ РАДИОБИОЛОГИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS
INSTITUTE OF RADIOBIOLOGY**

**РАДИОБИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ – 2025**

**Материалы международной научной конференции
(29–30 мая 2025, Гомель)**

**RADIOBIOLOGY AND ENVIRONMENTAL
SAFETY – 2025**

**Proceedings of the International Scientific Conference
(29–30 May 2025, Gomel)**

Минск
"ИВЦ Минфина"
2025

УДК [557.34+614.876](082)
ББК 28.071я43
P15

Составитель А. А. Михайлова

Редакционная коллегия:

*кандидат медицинских наук И. А. Чешик (главный редактор),
кандидат биологических наук О. Л. Федосенко,
кандидат биологических наук Н. И. Тимохина,
кандидат биологических наук Н. В. Чуешова*

Радиобиология и экологическая безопасность – 2025 : сборник научных статей по материалам международной научной конференции (Гомель, 29–30 мая 2025 г.) / Ин-т радиобиологии НАН Беларуси. – Минск : ИВЦ Минфина, 2025. – 350 с.

ISBN 978-985-880-588-3.

В сборник включены научные статьи, представленные на международной научной конференции «Радиобиология и экологическая безопасность – 2025», состоявшейся в Институте радиобиологии НАН Беларуси (Гомель, Республика Беларусь) 29–30 мая 2025 года. Статьи посвящены проблемам поведения радионуклидов и тяжелых металлов в окружающей среде, их переходу из почвы в растения и включения в пищевые цепи человека. Охватываются вопросы радиационной защиты, формирования доз облучения человека и биоты, эффекты воздействия ионизирующих и неионизирующих излучений на живые организмы. Затронуты актуальные аспекты информационной работы в области радиационной безопасности.

Издание предназначено для научных работников, преподавателей и учащихся высших учебных заведений, специалистов в области медицины, радиационной безопасности, экологии, сельскохозяйственного производства.

УДК [557.34+614.876](082)
ББК 28.071я43

ISBN 978-985-880-588-3

© Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», 2025
© Оформление. УП «ИВЦ Минфина», 2025



НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ

Приветствие участникам международной научной конференции «РАДИОБИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – 2025»

Уважаемые участники конференции!

Республика Беларусь уделяет первостепенное внимание обеспечению радиационной и экологической безопасности как одному из ключевых направлений социальной политики. Последствия крупнейшей техногенной катастрофы на Чернобыльской АЭС продолжают оставаться актуальной проблемой, которая требует комплексного подхода и долгосрочных решений. Президент Республики Беларусь постоянно держит эти вопросы в фокусе своего внимания, что отражает стратегическую значимость их решения для благополучия нации.

Социальная политика играет ключевую роль в преодолении экономических и социально-психологических последствий аварии. Вопросы, касающиеся улучшения условий жизни населения на пострадавших территориях, находятся под контролем руководства страны, включая законодательные и исполнительные органы власти. Беларусь накопила уникальный опыт восстановления радиоактивно загрязнённых зон, что не только способствует развитию экономики, но и поддерживает социальную стабильность.

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси остаётся важным научным центром, активно участвующим в реализации государственной стратегии. Его исследования и разработки способствуют созданию устойчивой системы радиационного контроля, управлению сельским и лесным хозяйством, а также разработке решений для безопасного ведения жизнедеятельности на пострадавших территориях. Этот успех стал возможным благодаря государственной поддержке и тесному взаимодействию с международными партнёрами.

Беларусь как государство, развивающее атомную энергетику, сталкивается с новыми задачами, требующими объединения научных достижений и социальной политики. Важно сохранить и развивать накопленный опыт, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию ядерных объектов, управление радиоактивными отходами и устойчивое развитие пострадавших регионов. Вопросы чернобыльских последствий продолжают занимать важное место в повестке Президента Республики Беларусь, подчеркивая значимость их решения для будущего страны.

Приветствуя участников Международной научной конференции «Радиобиология и экологическая безопасность – 2025», Национальная академия наук Беларуси выражает пожелания успешной работы, конструктивного диалога и достижения новых высот в области радиационной и экологической безопасности.

Председатель Президиума
Национальной академии наук Беларуси,
академик

В.Г. Гусаков



NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

Welcome Message to the Participants of the International Scientific Conference "RADIOBIOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY – 2025"

Dear Conference Participants,

The Republic of Belarus devotes its high-priority attention to radiation and environmental safety as one of the key directions addressed by the national social welfare policy. The aftermath of the most severe Chernobyl NPP accident continues to be a pressing challenge to this day, dealing with which demands for an integrative approach and long-term decisions. The President of the Republic of Belarus maintains a constant focus of attention on the issues recognising the strategic importance of handling them for the sake of well-being of the nation.

Social welfare policy plays a crucial role in overcoming economic and socio-psychological consequences of the accident. The matters related to improving the living conditions of citizens in the affected residential areas are closely monitored by the nation's leadership, all-level legislative and executive government authorities included. Belarus has amassed a wealth of unique experience in recovering radioactively contaminated territories, which promotes economic development and hence supports social stability in the country.

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus remains to be a central scientific establishment actively involved in the implementation of the national strategy. Its research and development efforts contribute to the efficiency of a radiation control system, agricultural and forest management, and provide solutions for ensuring the safety of livelihoods in contaminated areas. This successful advancement was only made possible owing to the government support and close cooperation with international partners.

Belarus, being a nuclear energy state, now faces new tasks that call for joining together the scientific achievements and social policy. It is essential to preserve and expand the accumulated experience to ensure operational safety of nuclear facilities, radioactive waste management, and sustainable development of affected regions. The Chernobyl-related affairs keep holding a prominent place on the agenda of the President of the Republic of Belarus, emphasizing the importance of their consideration for the future of the country.

The National Academy of Sciences of Belarus is greeting the participants of the International Scientific Conference "Radiobiology and Environmental Safety – 2025" and wishing you all most fruitful conference sessions, a constructive dialogue and the new heights reached in the area of radiation and environmental safety.

Chairman of the Presidium of the
National Academy of Sciences of Belarus,
Academician

Vladimir G. Gusakov

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Аверин В. С., Цуриков А. Г., Цурикова Н. В.</i> СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИШАЙНИКАХ ЗОНЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СРОЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ БЕЛОРУССКОЙ АЭС	11
<i>Анисимов В. С., Анисимова Л. Н., Мезина М. В., Фесенко С. В., Крыленкин Д. В., Коровин С. В., Саруханов А. В.</i> ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА НАКОПЛЕНИЕ ¹³⁷ Cs КОРМОВЫМИ БОБАМИ.....	15
<i>Анисимова Л. Н., Анисимов В. С., Фесенко С. В., Мезина М. В., Крыленкин Д. В., Изосимова Ю. Г., В. С. Цховребов</i> ИЗУЧЕНИЕ ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ⁹⁰ Sr, Th И U В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ПАСТБИЩНЫХ УЧАСТКОВ СТЕПНЫХ И ПОЛУПУСТЫННЫХ ЛАНДШАФТОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ	22
<i>Арефьева Д. В., Грабский Ю. В., Фирсанов В. Б., Ярмийчук С. В., Петушок А. В.</i> ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ С ОТКРЫТЫМИ РАДИОНУКЛИДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	27
<i>Барановский Н. А.</i> ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ГРУППАМИ НАСЕЛЕНИЯ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЙ	31
<i>Борисевич Н. Я.</i> ИНФОРМИРОВАНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ: ОТ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ К РАЗВИТИЮ СОЦИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ.....	35
<i>Брагин Е. В., Азизова Т. В., Григорьева Е. С.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАРЧЕСКОЙ КАТАРАКТЫ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ «МАЯК»	38
<i>Брикс К. В., Банникова М. В., Азизова Т. В.</i> РИСК СМЕРТНОСТИ ОТ АТЕРОСКЛЕРОЗА ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СОСУДОВ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ РАДИАЦИОННО-ОПАСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	41
<i>Бровка Г. П., Дорожок И. Н.</i> СПЕЦИФИКА ОЦЕНКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОРБИРУЕМЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ С НЕОДНОРОДНЫМ РЕЛЬЕФОМ.....	44
<i>Буланова К. Я., Герасимович Н. В., Пухтеева И. В., Атрош С. М.</i> ВЛИЯНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭРИТРОЦИТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ	49
<i>Васильев Д. В., Гераськин С. А., Лыченкова М. А.</i> ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ И ЧАСТОТУ АБОРТИВНЫХ СЕМЯН В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	53
<i>Вялкина Н. Н., Федосенко О. Л., Медведева Е. А.</i> ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ФРАКЦИОНИРОВАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ ГРУДНОГО ОТДЕЛА НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ И КАНЦЕРОГЕНЕЗ У МЫШЕЙ ЛИНИИ С57BL/6.....	57
<i>Воронецкая А. Н., Гарбарук Д. К., Углянец А. В.</i> ТЕКУЩЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В СОСНЯКАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС	60

<i>Гайнутдинов Т. Р., Рыжкин С. А., Бойчук С. В., Курбангалеев Я. М., Плотникова Э. М., Альтдинова Д. Т., Калимуллин Ф. Х., Шакуров М. М.</i>	
ОЦЕНКА РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ КРЫС ПРИ ЛЕЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ АГЕНТАМИ МИКРОБНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ.....	64
<i>Головешкин В. В., Евсеев Е. Б., Ненашев Р. А., Белаиш В. Е., Савенок А. А.</i>	
ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.....	68
<i>Гончаров С. В., Царенко А. А., Чуешова Н. В., Щемелев В. М., Шурова Е. А.</i>	
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МОЛОДНЯКА ЛОШАДЕЙ ПОРОДЫ РУССКИЙ ТЯЖЕЛОВОЗ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	72
<i>Горбач Л. А.</i>	
ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ТУБЕРКУЛЕЗОМ И СКРИНИНГ НА ТУБЕРКУЛЕЗ ДЕТСКОГО И ПОДРОСТКОВОГО НАСЕЛЕНИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В 2014–2023 ГОДЫ	77
<i>Гусева О. А., Цыгвинцев П. Н., Рачкова В. М.</i>	
СТРУКТУРА УРОЖАЯ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО ПОСЛЕ ОСТРОГО γ -ОБЛУЧЕНИЯ	81
<i>Гусейнова Д. И., Бабич Е. А., Попова Е. Н., Николаенко Е. В., Жукова О. М.</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ В ЗОНАХ НАБЛЮДЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС И ИГНАЛИНСКОЙ АЭС И МЕТОДОВ ОТБОРА ПРОБ ВОДЫ.....	87
<i>Дикарев А. В., Казакова Е. А., Бондаренко Е. В., Бондаренко В. С., Ханова А. С., Горбатова И. В., Гераськин С. А.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕТЫРЕХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ К ДЕЙСТВИЮ КАДМИЯ	91
<i>Жунтова Г. В., Азизова Т. В., Банникова М. В.</i>	
ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	95
<i>Забродский В. Н., Самсонов В. Л., Есипович С. В., Матус А. Е., Маскаленко Н. Н., Дюбайло О. В.</i>	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ ПО ВЕРТИКАЛЬНОМУ ПОЧВЕННОМУ ПРОФИЛЮ ЧЕРЕЗ 37 ЛЕТ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС	99
<i>Калиниченко С. А., Кудин М. В., Никитин А. Н., Шуранкова О. А., Блинова Н. В., Тагай С. А., Калинин В. Н.</i>	
ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs , ^{90}Sr В ДРЕВЕСИНЕ ЗОНЫ ЭВАКУАЦИИ (ОТЧУЖДЕНИЯ) ЧАЭС, ПОЛУЧАЕМОЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	103
<i>Карапетян А. Г., Григорян В. С., Даллакян А. М.</i>	
ПРОЯВЛЕНИЕ РАДИОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ У ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ $\text{Cu}(\text{L}^{\text{CF}_3})_2$ И $\text{C}_{46}\text{H}_{47}\text{CuF}_6\text{NP}_3$	108
<i>Кизеев А. Н., Кульнев В. В., Межова Л. А.</i>	
ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА АССИМИЛЯЦИОННЫЙ АППАРАТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (<i>PINUS SYLVESTRIS</i> L.) В УСЛОВИЯХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА	112
<i>Киселёв С. М., Шлыгин В. В., Зозуль Ю. Н., Ахромеев С. В.</i>	
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ.....	117
<i>Копыльцова Е. В., Шамаль Н. В., Сеглин В. Н., Король Р. А., Спилов Р. К., Тимохина Н. И., Никитин А. Н.</i>	
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ: ЦИФРОВЫЕ КАРТЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	121

<i>Коржавин А. В., Коржавина Т. Н., Вохмянин Б. Н.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК У ИХТИОФАУНЫ ОБЪ-ИРТЫШСКОЙ РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.....	126
<i>Корзун В. А., Емельянцева Т. А., Лакутин А. А., Корзун А. С., Городецкая О. В.</i> ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ЛИЦ С КОГНИТИВНЫМИ РАССТРОЙСТВАМИ, ПРОЖИВАЮЩИХ В СОЦИАЛЬНОМ ПАНСИОНАТЕ ПСИХОНЕВРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ.....	130
<i>Кравченко Е. В., Саванец О. Н., Ольгомец Л. М., Бизунок Н. А., Зильберман Р. Д., Дубовик Б. В.</i> ВЛИЯНИЕ ДИПЕПТИДОВ PRO-GLY И PRO-LEU НА УЛЬТРАДИАННЫЕ РИТМЫ ГДА, И МОДИФИКАЦИЯ БИОРИТМОВ МК-801 У СУБМИССИВНЫХ МЫШЕЙ ICR В УСЛОВИЯХ ГРУППОВОЙ АКТОМЕТРИИ.....	134
<i>Крыленкин Д. В., Анисимов В. С., Фесенко С. В., Анисимова Л. Н., Мезина М. В., Саруханов А. В., Цховребов В. С., Калугин Д. В.</i> СОДЕРЖАНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭКОСИСТЕМЕ ПАСТБИЩНЫХ ЛАНДШАФТОВ АЙГУРСКОЙ ПРОВИНЦИИ СТАВРАПОЛЬСКОГО КРАЯ	138
<i>Куликович Д. Б., Власова Н. Г., Кракодеева Д. В.</i> РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ С ИМПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «rDOSE»	142
<i>Курбангалеев Я. М., Вагин К. Н., Гайнутдинов Т. Р., Ишмухаметов К. Т., Галлямова М. Ю.</i> ИЗУЧЕНИЕ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ПОДВЕРГНУТЫХ РАДИОСТЕРИЛИЗАЦИИ .	147
<i>Ласько Т. В., Никитин А. Н., Танкевич Е. А., Симончик Ю. К.</i> ДИНАМИКА ПРИРОДНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПОЙМЕННЫХ ЗЕМЛЯХ, ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБОРОТА	151
<i>Лобановская П. Ю., Соловей О. Э., Юрченко И. С., Ясюченя Р. А., Сеньковец Т. А., Хейдорова Е. Э., Никифоров М. Е.</i> ОЦЕНКА СИТУАЦИИ ПО ЗООАНТРОПОНОЗАМ В БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС И АНАЛИЗ ЭПИЗООТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИРОДНЫХ ОЧАГОВ ДИРОФИЛЯРИОЗА, ЦЕРКАРИАЛЬНЫХ ДЕРМАТИТОВ И КЛЕЩЕВЫХ ИНФЕКЦИЙ В ПОЛЕССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ РАДИАЦИОННО- ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (ПГРЭЗ).....	156
<i>Мальцева С. В., Грицкевич Е. Р., Сыса А. Г., Бученков И. Э., Бирг В. С., Ахмед Х.</i> АНАЛИЗ НАЛИЧИЯ ГЕНОВ ФЕРМЕНТОВ БАКТЕРИЙ <i>BACILLUS SUBTILIS</i> В ЗОНАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИАЦИОННОГО ФОНА	163
<i>Мартищенкова Е. В., Галанзовский А. С.</i> ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ: ВОСПРИЯТИЕ И ФАКТОРЫ РИСКА.....	167
<i>Милейко А. А., Седукова Г. В., Кристова Н. В., Исаченко С. А.</i> НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ <i>SORGHUM BICOLOR</i> (L.) MOENCH.	172
<i>Михайловская Л. Н., Позолотина В. Н., Михайловская З. Б.</i> НАКОПЛЕНИЕ ⁹⁰ Sr ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЯДЕРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	176
<i>Московский А. А., Ромодин Л. А., Никитенко О. В., Бычкова Т. М.</i> ОЦЕНКА ПРОТЕКТОРНОГО ЭФФЕКТА МЕДНОГО ХЛОРОФИЛЛИНА, ИНДРАЛИНА И РИБОКСИНА (ИНОЗИНА) ПРИ ФРАКЦИОНИРОВАННОМ ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ МЕТОДОМ ДНК-КОМЕТ.....	181
<i>Мышковец Н. С., Коваль А. Н., Сергеенко С. М., Алексейко Л. Н.</i> ПОЛЯРОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ДЫХАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ТКАНЕЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ОБЛУЧЕНИИ	185

<i>Надина Н. Г., Юрченко И. С., Шатило Д. О., Шаркевич В. Ч., Шестак А. Ч.</i> СОДЕРЖАНИЕ ^{137}Cs В ОРГАНИЗМЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО- ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА.....	189
<i>Ненашев Р. А., Дерунков А. В., Прохорчик П. С., Евсеев Е. Б., Калинин С. А., Головешкин В. В.</i> ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am В ОРГАНИЗМЕ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ- ГЕРПЕТОБИОНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ	193
<i>Осипов М. В., Трушин И. В., Жидков О. В., Дружинина П. С., Сокольников М. Э.</i> КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ И РАДИОГЕННЫЙ РИСК: ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДАЛЕННЫХ ЭФФЕКТОВ МАЛЫХ ДОЗ	199
<i>Ослина Д. С., Синельщикова О. А., Адамова Г. В., Азизова Т. В.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ СУБПОПУЛЯЦИЙ ЛИМФОЦИТОВ У ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВНУТРИУТРОБНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ	204
<i>Осовец С. В., Азизова Т. В., Мосеева М. Б.</i> СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ: СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ ПОРОГОВ СО СТАНДАРТНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ.....	209
<i>Пашанина Л. М., Низамов Р. Н., Фролов А. В., Вагин К. Н., Трофимов Д. Л.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА ПРИ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ.....	213
<i>Попова Е. Н., Николаенко Е. В., Жукова О. М., Седукова Г. В.</i> ОЦЕНКА УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ СТРОНЦИЯ-90 В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ ИЗ ЛИЧНЫХ ПОДСОБНЫХ ХОЗЯЙСТВ В ЗОНЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС В ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 2017–2024 ГГ.....	216
<i>Потапенко А. М., Козлов А. К., Толкачева Н. В., Мамихин С. В.</i> ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ^{137}Cs В ПОЧВЕ ЛЕСНЫХ БИОЦЕНОЗОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕЙ ЗОНЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ВЫПАДЕНИЙ	220
<i>Пучков А. В., Яковлев Е. Ю.</i> ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОРФЯНОГО БОЛОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ОМА, НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ).....	224
<i>Ромашкина И. В., Квичанская Е. С., Поляков Р. К., Раздайковин А. Н., Ромашкин Д. Ю., Горбунов И. Ю., Радин А. И.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ ОРГАНОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (<i>PINUS SYLVESTRIS</i> L.) В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	228
<i>Саванец О. Н., Кравченко Е. В., Ольгомец Л. М., Бородина К. В., Грибовская О. В., Зильберман Р. Д.</i> ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТОВ СТРУКТУРНЫХ АНАЛОГОВ С-КОНЦЕВОГО ФРАГМЕНТА АРГИНИН-ВАЗОПРЕССИНА В ТЕСТЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ПЛАВАНИЯ У КРЫС W1STAR	234
<i>Седукова Г. В., Радченко С. В., Ярец С. Л.</i> ВЛИЯНИЕ ГУМУСА И ЕГО ПОДВИЖНОСТИ НА НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗЕЛЕННОЙ МАССЕ СОРГО САХАРНОГО	238
<i>Седукова Г. В., Тимченко Е. А., Козлова Л. И., Дрозд К. С.</i> МНОГОЛЕТНИЕ ЛУГОВЫЕ ПОЛИФИТОЦЕНОЗЫ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....	243

<i>Семёнова А. А., Хейдорова Е. Э., Юрченко И. С., Лобановская П. Ю., Молчан В. О., Шпак А. В., Никифоров М. Е.</i>	
ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО СТАТУСА МОДЕЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ РЫБ И МЛЕКОПИТАЮЩИХ, ОБИТАЮЩИХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС И НА СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	247
<i>Сидоренко С. А., Эдомская М. А., Маркова М. В., Томсон А. В., Шаврина К. Е., Шуник А. А.</i>	
РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» – ВНИИРАЭ ПРИ РАБОТАХ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ТРИТИЯ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ИСХОДЯ ИЗ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОЗДУХЕ.....	254
<i>Соколик Г. А., Попеня М. В., Прищепов Р. А., Мелешко М. С.</i>	
ПЕРЕХОД ⁹⁰ Sr ИЗ ПОЧВ В РАСТЕНИЯ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В ОТДАЛЕННЫЙ ПОСТЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПЕРИОД.....	260
<i>Старобор Н. Н., Раскоша О. В.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДНК-КОМЕТ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В КЛЕТКАХ СЕМЕННИКОВ У МЫШЕЙ ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ.....	264
<i>Стенуро И. И., Токарева А. А., Шуриберко А. В., Янцевич А. В., Смирнов В. Ю., Бадун Е. Г., Стенуро В. И.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ОКИСЛЕНИЯ ТИАМИНА И ЕГО ФОСФОРНЫХ ЭФИРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА UVB-ДИАПАЗОНА МЕТОДАМИ ВЭЖХ И МАСС-СПЕКТРОСКОПИИ	268
<i>Стреляева З. В., Король Р. А., Дрозд К. С., Бардюкова А. В., Яблонская И. В.</i>	
РАДИОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ Pu-238, 239+240 В ПОЧВЕ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ	275
<i>Танкевич Е. А., Никитин А. Н., Ладутько Е. И., Концевая И. И.</i>	
ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП МИКРООРГАНИЗМОВ ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВЫХ ПОЧВ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ	279
<i>Тимохина Н. И., Федосенко О. Л., Чешик И. А.</i>	
РАДИАЦИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОДПРОГРАММЫ В 2024 ГОДУ)	283
<i>Ханова А. С., Блинова Я. А., Шубина С. И., Казакова Е. А., Бондаренко Е. В.</i>	
ОЦЕНКА АГРЕССИВНОСТИ ПРИРОДНОГО ИЗОЛЯТА <i>BEAUVERIA BASSIANA</i> , ЕГО РАДИОУСТОЙЧИВОСТИ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ФУНГИЦИДАМ.....	287
<i>Хибиев А. К.</i>	
ЭКОЛОГО-ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ БЕЛАРУСИ.....	291
<i>Царенок А. А., Карпенко А. Ф., Севрюк И. З., Макаровец И. В., Гвоздик А. Ф., Гончаров С. В., Чуешова Н. В., Телицина Н. В.</i>	
ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОСТУПЛЕНИЯ ВИТАМИНА D НА ПЕРЕХОД СТРОНЦИЯ-90 В МОЛОКО КОРОВ	297
<i>Чайкова Ю. В., Веялкин И. В.</i>	
АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПЕРСОНАЛА ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	302
<i>Чешик И. А., Кадукова Е. М.</i>	
ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ САМЦОВ МЫШЕЙ ЛИНИИ C57BL/6 ПОСЛЕ ФРАКЦИОНИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В РАЗНЫХ ДОЗАХ	306

Шамаль Н. В., Копыльцова Е. В., Сеглин В. Н., Спиров Р. К., Тимохина Н. И., Никитин А. Н. ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ЯСНАЯ ПОЛЯНА»	311
Шклярова А. Н., Седукова Г. В., Н. В. Крстова, М. Н. Стародубцева ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ФЕНОТИПА РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ZR-75 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСТРАКТА СОРГО И ОБЛУЧЕНИЯ.....	316
Шуранкова О. А., Никитин А. Н., Калинин С. А., Тагай С. А., Мищенко Е. В., Сухарева Д. В. ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОЙМЫ Р. СОЖ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА	320
Щемелев В. М. СОДЕРЖАНИЕ НЕЙРОМЕДИАТОРОВ В СТРИАТУМЕ МОЛОДЫХ КРЫС-САМЦОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	325
Щурова Е. А., Чуешова Н. В., Новицкая С. П., Бортновский В. Н. ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОГО ИММУНИТЕТА ЛЕГКИХ ПРИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К ОПУХОЛЕОБРАЗОВАНИЮ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	328
Эдомская М. А., Мезина М. В., Лукашенко С. Н., Шупик А. А., Томсон А. В. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{239+240}\text{Pu}$ И ^{137}Cs ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	332
Юшкова Е. А., Земская Н. В., Шапошников М. В. ФИНГОЛИМОД ДЕЙСТВУЕТ ЧЕРЕЗ РАЗНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ И РАДИОУСТОЙЧИВОСТИ <i>DROSOPHILA</i> <i>MELANOGASTER</i>	338
Яковлев Е. Ю., Орлов А. С., Токарев И. В., Дружинин С. В., Зыков С. Б. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОВЫШЕННЫМ ИЗОТОПНЫМ ОТНОШЕНИЕМ $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ, СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ)	342
Яковлев Е. Ю., Пучков А. В., Дружинин С. В. РАДОН-222 В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ БАСЕЙНА РЕКИ АЛА-АРЧА (КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА)	347

АНАЛИЗ НАЛИЧИЯ ГЕНОВ ФЕРМЕНТОВ БАКТЕРИЙ *BACILLUS SUBTILIS* В ЗОНАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИАЦИОННОГО ФОНА

С. В. Мальцева¹, Е. Р. Грицкевич¹, А. Г. Сыса², И. Э. Бученков², В. С. Бирг³, Х. Ахмед¹

¹Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь, sveta.malceva28@mail.ru

²Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь

³Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Деятельность человеческого общества преобразует естественные экосистемы с высокой скоростью. Почвенный покров, являясь важным компонентом экосистем, подвергается воздействию различных загрязнителей, включая радионуклиды. Ионизирующее излучение, являясь редким, но потенциально разрушительным загрязнителем, может вызывать повреждение ДНК и других биомолекул. Антропогенные источники радиоактивного загрязнения включают аварии на атомных электростанциях, испытания ядерного оружия и некоторые виды производственной деятельности. Исследования животных и растений в радиоактивных зонах позволили понять механизмы выживания высших организмов в условиях хронического воздействия радиации. Однако влияние ионизирующего излучения на почвенные микробные сообщества изучено недостаточно. В данной работе проведен анализ генов ферментов спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis*, выделенных из почв различных территорий с разным уровнем радиационного фона. Использование метода Real-time PCR позволило выявить наличие генов, кодирующих фитазу, нитрогеназу и щелочную фосфатазу, и оценить их соотношение в зависимости от уровня радиации. Результаты показали снижение количества генов ферментов в зонах с высоким радиационным фоном, что может быть связано с точечными мутациями или изменением экспрессии генов. Полученные данные имеют как теоретическое, так и прикладное значение для разработки биологических методов очистки почв от радионуклидов.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, почвенные бактерии, *Bacillus subtilis*, фитаза, нитрогеназа, щелочная фосфатаза, Real-time PCR

Введение. Деятельность человека оказывает значительное влияние на экосистемы, включая изменение климата, интродукцию инвазивных видов и загрязнение окружающей среды. Почвенный покров, являясь важным компонентом экосистем, подвергается воздействию различных загрязнителей, включая ионизирующее излучение. Хотя естественный радиационный фон обычно не представляет угрозы для живых организмов, антропогенные источники, такие как аварии на атомных электростанциях, могут значительно повышать уровень радиации, что приводит к повреждению ДНК и других биомолекул [1–3].

Почвенные микроорганизмы играют ключевую роль в поддержании экологического баланса, участвуя в круговороте питательных веществ и деградации загрязнителей. Бактерии рода *Bacillus*, в частности *Bacillus subtilis*, известны своей устойчивостью к стрессовым условиям, включая радиацию, окислительный стресс и высушивание [4]. Они способны фиксировать азот, солибализировать фосфор и повышать биодоступность макро- и микроэлементов для растений. Однако механизмы адаптации этих бактерий к длительному воздействию радиации остаются малоизученными [5; 6].

Целью данной работы является анализ наличия генов, кодирующих ферменты фитазу, нитрогеназу и щелочную фосфатазу, у *Bacillus subtilis*, выделенных из почв с разным уровнем радиационного фона, и оценка влияния радиации на их функциональную активность.

Материалы и методы. Отбор проб почвы. Пробы почвы отбирались на четырех модельных участках площадью 25 м² каждый:

1. Территория Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) – зона с длительным воздействием высоких доз ионизирующего излучения.
2. Оршанский район – территория с естественным уровнем радиации.
3. Березинский биосферный заповедник (ББЗ) – зона с естественным фоновым уровнем радиации.
4. Островецкий район – территория, представляющая научный интерес в связи с расположением БелАЭС.

На каждом участке было отобрано по 10 проб почвы с глубины 10–15 см. Для контроля внешних факторов измерялись рН, содержание органического вещества, влажность и температура почвы.

Выделение и идентификация бактерий. Изоляция бактерий рода *Bacillus* проводилась с использованием классических микробиологических методов [7]. Морфологические,

биохимические и физиологические характеристики изолятов сравнивались с референсными штаммами *Bacillus subtilis* [8].

Анализ генов ферментов. Геномная ДНК выделялась из почвенных проб с использованием набора FastDNA Spin Kit (MP Biomedicals, США). Концентрация и чистота ДНК оценивались спектрофотометрически (соотношение A260/A280). Для детекции генов фитазы, нитрогеназы и щелочной фосфатазы использовались праймеры, которые были взяты из литературного источника (таблица) [9]. Во избежание ошибочной амплификации был проведен анализ *in-silico* аннотированных геномов *Bacillus subtilis*, представленных в информационной базе данных NCBI.

Последовательности праймеров для идентификации генов ферментов

Название	Последовательность
Fit-f	GACCGTGCGACAGGAGATCA
Fit-r	GCCAAGTCCGAAACCGAGAA
Nitr-f	AACAGCCTGCTTCGGGTCTG
Nitr-r	GCTCGGCAGCTTTCCACATC
Fosf-f	TAGAAGCGCAAACCCGAAA
Fosf-r	TTTTCCAGCCTGCCTCAAGC

Реакционная смесь для Real-time PCR включала 4 мкл ДНК (25–30 нг), 1 мкл прямого и обратного праймеров (100 пмоль), 10 мкл SYBR Green PCR Master Mix (Applied Biosystems, США) в общем объеме 20 мкл. Протокол ПЦР состоял из этапа предварительной денатурации (95 °С, 5 мин), 30 циклов денатурации (95 °С, 10 сек), отжига (59 °С, 40 сек) и удлинения (72 °С, 10 сек). Результаты интерпретировались по значению Ct (пороговый цикл) в диапазоне 18–30.

Статистический анализ. Данные обрабатывались с использованием программы Statistica 10.0. Для оценки значимости различий применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с уровнем значимости $p < 0,05$.

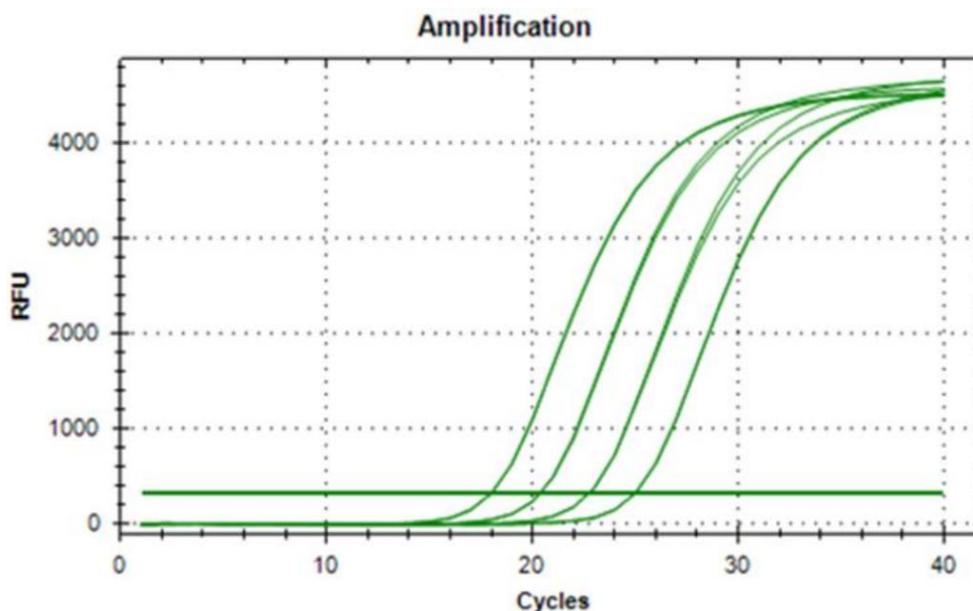
Результаты исследования и их обсуждение. В ходе исследования методом Real-time PCR была определена доля ДНК бактерий рода *Bacillus* в почвенных пробах, отобранных на четырех модельных участках. Результаты показали следующее распределение:

- Оршанский район (естественный уровень радиации): 10,5 %;
- Березинский биосферный заповедник (ББЗ, естественный фоновый уровень радиации): 8,5 %;
- Островецкий район (территория вблизи БелАЭС): 9,1 %;
- Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ, зона с высоким уровнем радиации): 11,3 %.

Несмотря на то, что в зоне ПГРЭЗ наблюдалось наибольшее количество ДНК бактерий рода *Bacillus*, это может быть связано с их повышенной устойчивостью к радиации по сравнению с другими микроорганизмами, что привело к их доминированию в данных условиях.

Анализ наличия генов, кодирующих ферменты фитазу, нитрогеназу и щелочную фосфатазу, показал следующие результаты:

- Оршанский район: гены обнаружены у 43 % изолятов;
- ББЗ: гены обнаружены у 51 % изолятов;
- Островецкий район: гены обнаружены у 45 % изолятов;
- ПГРЭЗ: гены обнаружены у 21 % изолятов (рисунок).



Результаты амплификации праймерной системы для детекции гена, кодирующего фосфатазу бактерии *Bacillus subtilis* (ББЗ)

Наблюдаемое снижение количества генов в зоне ПГРЭС более чем в 2 раза по сравнению с ББЗ может быть обусловлено несколькими факторами:

1. Точечные мутации: Длительное воздействие радиации могло привести к повреждению ДНК и потере функциональных генов.

2. Изменение экспрессии генов: Радиация могла повлиять на регуляторные механизмы, снизив активность генов, ответственных за синтез ферментов.

3. Селективное давление: В условиях высокого радиационного фона могли выжить только те штаммы, которые адаптировались к стрессу, возможно, за счет потери части генов, не критичных для выживания.

Для исключения влияния других факторов на результаты исследования были проанализированы физико-химические параметры почвы:

– рН: Значения варьировались в пределах 6,0–7,5 на всех участках, что не оказывает существенного влияния на активность бактерий рода *Bacillus*;

– Содержание органического вещества: На всех участках уровень органического вещества находился в диапазоне 2,5–4,0 %, что является типичным для исследуемых регионов;

– Влажность и температура: Эти параметры также не показали значительных различий между участками.

Таким образом, наблюдаемые изменения в наличии генов ферментов можно с уверенностью связать с уровнем радиационного фона.

Функциональные последствия. Снижение количества генов, кодирующих фитазу, нитрогеназу и щелочную фосфатазу, может иметь серьезные последствия для экосистемы:

– Нарушение круговорота питательных веществ: Фитаза и щелочная фосфатаза участвуют в минерализации фосфора, а нитрогеназа – в фиксации азота. Снижение их активности может привести к дефициту этих элементов в почве;

– Снижение биологической активности почвы: Уменьшение функционального разнообразия микробного сообщества может негативно сказаться на плодородии почвы и росте растений.

Бактерии рода *Bacillus* известны своей способностью к адаптации в экстремальных условиях. В данном случае возможны следующие механизмы:

1. Активация систем репарации ДНК: Бактерии могли усилить активность ферментов, ответственных за восстановление повреждений ДНК;

2. Изменение метаболических путей: В условиях стресса бактерии могли переключиться на альтернативные пути получения энергии и питательных веществ;

3. Горизонтальный перенос генов: Возможно, штаммы *Bacillus subtilis* приобрели гены устойчивости от других микроорганизмов, что позволило им выжить в условиях высокого радиационного фона.

Заключение. Исследование выявило значительное снижение количества генов ферментов у *Bacillus subtilis* в зонах с высоким радиационным фоном, что может быть связано с точечными мутациями, изменением экспрессии генов или селективным давлением. Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейшего изучения механизмов адаптации почвенных микроорганизмов к радиации и их роли в восстановлении загрязненных экосистем. Полученные результаты имеют важное прикладное значение для разработки биологических методов очистки почв от радионуклидов. Понимание механизмов адаптации *Bacillus subtilis* к радиации может быть использовано для создания штаммов-биоремедиантов, способных эффективно восстанавливать загрязненные территории.

Литература

1. Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products / O. Perez-Garcia [et al.] // Water Res. – 2011. – Vol. 45 (1). – P. 11–36. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.037>
2. Siciua, O. A. Biodiversity of *Bacillus subtilis* group and beneficial traits of *Bacillus* species useful in plant protection / O. A. Siciua, F. Constantinescu, C. C. Petruta // Romanian Biotechnological Letters. – 2015. – Vol. 20 (5). – P. 10737–10750.
3. Microbial responses to ionizing radiation / J. Smith [et al.] // Environ. Microbiol. – 2020. – Vol. 22. – P. 123–145.
4. Shah, V. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil / V. Shah, A. Daverey // Environmental Technology & Innovation. – 2020. – Vol. 18 (5). – 100774.
5. Remediation of heavy metal contaminated soils by organic acid extraction and electrochemical adsorption / X. Yang [et al.] // Environ. Pollut. – 2020. – Vol. 264. – 114745. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114745>
6. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry / A. Esitken [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2010. – Vol. 124 (1). – P. 62–66.
7. Berg, G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture / G. Berg // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2009. – Vol. 84 (1). – P. 11–18.
8. Васильев, Д. А. Изучение биохимических свойств *Bacillus cereus* / Д. А. Васильев // Идентификация бактерий *Bacillus cereus* на основе фенотипической характеристики : практический справочник. – Ульяновск, 2013. – С. 43–51.
9. Выявление генов ферментов у бактерий вида *Bacillus subtilis* методом Real-time PCR / Е. В. Сульдина [и др.] // Вестник. – 2021. – № 4. – С. 61–65.

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF GENES OF ENZYMES OF BACTERIA OF THE GENUS *BACILLUS* IN AREAS WITH DIFFERENT LEVELS OF RADIATION BACKGROUND

S. V. Maltava¹, E. R. Gritskevich¹, A. G. Sysa², I. E. Buchenkov², V. S. Birg³, H. Ahmed¹

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University (ISEI BSU), Minsk, Republic of Belarus, sveta.malceva28@mail.ru

²Polessky State University, Pinsk, Republic of Belarus

³Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Human activity is rapidly transforming natural ecosystems. The soilcover, being an important component of ecosystems, is exposed to various pollutants, including radionuclides. It is known that ionizing radiation can damage DNA and other biomolecules. Anthropogenic sources of radioactive contamination include accidents at nuclear power plants, nuclear weapons tests, and some industrial activities. Studies of animals and plants in radioactive zones have given us a deeper understanding of how representatives of higher living organisms can survive despite chronic exposure to radiation. However, there is insufficient information on the effects of ionizing radiation on soil microbial communities. The article analyzes the genes of enzymes of spore-forming bacteria *Bacillus subtilis*, one of the representatives of the dominant population of the soil microbiome, isolated from soil samples of various model areas exposed to long-term exposure to high doses of ionizing radiation, as well as under its natural background level. The presence of all three regions of DNA genes encoding the enzymes phytase, nitrogenase and alkaline phosphatase was shown in the studied microorganisms isolated from soil samples of model areas, but their ratios were different. It is known that bacteria belonging to the genus *Bacillus* are characterized by an exceptional ability to resist and adapt to the damaging effects of various pollutants, but a decrease in the presence of DNA gene regions encoding the enzymes phytase, nitrogenase and alkaline phosphatase was noted in the studied bacteria, which were exposed to ionizing radiation for a long time.

Keywords: ionizing radiation, pollutants, bacteria, gene, territory, phytase, nitrogenase, alkaline phosphatase

Научное издание

**РАДИОБИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ – 2025**

Материалы международной научной конференции
(29–30 мая 2025, Гомель)

**RADIOBIOLOGY AND ENVIRONMENTAL
SAFETY – 2025**

Proceedings of the International Scientific Conference
(29–30 May 2025, Gomel)

Ответственный за выпуск *А. А. Михайлова*

Подписано в печать 05.05.2025. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 33,48.
Уч.-изд. л. 30,45. Тираж 87 экз. Заказ 176.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь».
Свидетельства о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/161 от 27.01.2014, № 2/41 от 29.01.2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.