

## ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБЪЕКТОВ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ И ПУНКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

М. Н. Савкин, М. В. Ведерникова, С. В. Панченко  
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 26 июня 2018 г.

*На протяжении длительного времени обращение с радиоактивными отходами, в том числе их хранение или захоронение, рассматривалось как один из основных факторов негативного воздействия на настоящее и будущее поколения людей. Развитие новых рекомендаций в международной системе радиологической защиты, включающих необходимость дополнительного учета влияния ионизирующего излучения на биоту и этических принципов, потребовало выработки подходов к проведению оценок долгосрочной безопасности объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) не только для человека, но и для объектов живой природы. Помимо этого, при выборе и обосновании барьеров безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов (РАО) необходимо учитывать влияние биологических помех, которые могут негативно влиять на изоляцию РАО от окружающей среды. В статье рассмотрены аспекты взаимовлияния антропогенных объектов, а именно пунктов захоронения РАО, и отдельных объектов биоты.*

**Ключевые слова:** биота, биологические помехи, радиоактивные отходы, захоронение, долгосрочная безопасность, радиэкологическая защита, радиационный ущерб окружающей среде.

На протяжении всего XX века в обществе формировалось однозначное представление о негативном воздействии РАО на живую природу и человека. Подобная точка зрения подкреплялась событиями, связанными со сбросами технологических отходов в р. Теча, взрывом емкости с высокоактивными РАО на ПО «Маяк», приведшим к загрязнению обширных территорий, т. н. Восточно-Уральский радиоактивный след, широкомасштабными работами по обращению с РАО на территории площадки Чернобыльской АЭС и далеко за ее пределами [1]. С другой стороны, становление и развитие ядерных технологий было неразрывно связано с повышением безопасности объектов и развитием систем радиационного мониторинга окружающей среды, проведением масштабных исследований по воздействию объектов использования атомной

энергии (ОИАЭ) на человека и живые организмы, развитием жесткой нормативной системы требований безопасности. Весь комплекс перечисленных мероприятий позволяет сегодня оперировать более реалистичными оценками ущерба живой природе от деятельности в сфере обращения с РАО, анализировать проблемы текущей и долгосрочной экологической и технической безопасности пунктов захоронения и взаимовлияние биоты и техногенных объектов друг на друга. Последняя задача в настоящее время приобретает крайнюю актуальность в связи со строительством пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), которые должны обеспечить радиационную безопасность окружающей среды в течение периода потенциальной опасности РАО, который может исчисляться сотнями, а иногда тысячами

лет. В долгосрочном плане вопросы адекватной оценки экологической и технической безопасности нуждаются в правильной постановке и научном решении. Целью настоящей статьи является оценка возможного ущерба животному и растительному миру при текущем уровне безопасности ядерных технологий и анализ основных путей влияния объектов живой природы на природные и инженерные барьеры безопасности ПЗРО.

### Развитие системы радиоэкологической защиты и оценка радиационного ущерба окружающей среде при обращении с РАО

На международном уровне почти на всем протяжении прошлого столетия была принята антропоцентрическая парадигма радиационной защиты. Главной целью как международных рекомендаций и стандартов безопасности, в том числе МКРЗ и МАГАТЭ, так и отечественных нормативных документов являлась радиационная защита настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

Масштабные фундаментальные радиобиологические исследования, направленные на изучение механизмов радиационного воздействия на различных уровнях организации живой материи: от молекулярного до организменного и популяционного, нашли свое прикладное применение при экстраполяции данных на человека [2]. Даже исследования, проводимые в СССР после аварии на ПО «Маяк», нацеленные на выявление закономерностей поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и разработку средств и методов защиты сельскохозяйственных растений и животных, были ориентированы на выживание человека в условиях применения ядерного оружия [3].

К началу XXI века во всем мире наметился рост внимания к вопросам обеспечения безопасности окружающей среды. Данные, накопленные в результате многолетних исследований воздействия радиации на объекты биоты, позволили на международном уровне признать, что существует ряд сценариев, где «человек отсутствует, а ситуации облучения могут привести к последствиям для окружающей среды, которые надо учитывать» (Публикация 103 МКРЗ<sup>1</sup>). Защита окружающей среды была определена как деятельность, направленная «на предотвращение или снижение частоты вредного радиационного воздействия на биоту до уровня, при котором оно оказывало бы незначительное влияние на биологическое разнообразие, сохранение видов или благоприятное состояние естественных мест

обитания, сообществ и экосистем» (Публикация 124 МКРЗ<sup>2</sup>).

Из-за огромного разнообразия биоты и предполагаемой ее реакции на облучение, работоспособная система защиты окружающей среды нуждалась в некоторых упрощениях и обобщениях. Поэтому МКРЗ приняла концепцию референтных животных и растений (Reference Animals and Plants — RAPs) — репрезентативной выборки животных и растений, обитающих в различных средах (наземных, пресноводных, морских). Набор из 12 RAPs был описан МКРЗ с учетом общности таксономического уровня «семейства», поскольку это самый высокий ранговый уровень, на котором радиобиологический отклик животных или растений данного семейства на радиационное воздействие можно считать относительно постоянным. Концепция и использование RAPs подробно рассмотрены в Публикации 108 МКРЗ<sup>3</sup>, там же приведена информация, позволяющая проводить практические оценки дозовых нагрузок на RAPs. Предложены производные референтные уровни (Derived Consideration Reference Levels — DCRLs), характерные для каждого из различных типов RAPs. DCRLs представляют собой диапазон мощностей дозы, охватывающий один порядок величины, в пределах которого существует некоторая вероятность вредных эффектов от ионизирующего излучения для особой данного типа RAPs. Таким образом, DCRLs могут быть использованы в качестве справочных значений при оценке затрат на защиту окружающей среды в различных ситуациях облучения (планируемой, аварийной, существующей). Важно отметить, что DCRLs рекомендуется использовать, если дополнительное воздействие на окружающую среду существенно выше естественного фона облучения соответствующего вида биоты.

В ситуациях существующего облучения, к которым может относиться обращение с особыми РАО (хранение, консервация и захоронение), DCRLs следует рассматривать в качестве дополнительных критериев для снижения воздействия на окружающую среду.

Еще один вектор развития современной международной системы радиационной защиты направлен на активную пропаганду и внедрение этического кодекса, основанного на четырех ключевых этических ценностях (Публикация 138 МКРЗ<sup>4</sup>):

*благодеянии и не причинения вреда*, что согласуется с основной целью системы радиологической

<sup>1</sup> ICRP, 2007. 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103 (Users Edition). Ann. ICRP 37 (2–4).

<sup>2</sup> ICRP, 2014. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).

<sup>3</sup> ICRP, 2008. Environmental Protection — the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4–6).

<sup>4</sup> ICRP, 2018. Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. ICRP Publication 138. Ann. ICRP 47 (1).

защиты: достижению приемлемого уровня защиты без необоснованного ограничения полезной человеческой деятельности;

*благоразумной предосторожности:* информированного и тщательно продуманного выбора действий при рассмотрении неопределенности радиационных рисков как для человека, так и для окружающей среды;

*справедливости* при распределении выгоды и недостатков, например, путем ограничения индивидуальной дозы и соответствующего социально приемлемого риска;

*достоинства*, включающего безоговорочное уважение, которого заслуживает каждый человек, независимо от его личных качеств или обстоятельств.

Указанные этические ценности поддерживают цели системы радиологической защиты и ее три основных принципа: обоснования, оптимизации и ограничения индивидуальных доз, но добавляют к техническим и естественным научным основам системы радиационной защиты большой социальный аспект.

Западные высокоразвитые страны (которые, кстати, инициировали указанные выше эволюционные добавления) видят механизм практической реализации концепции радиологической защиты человека и окружающей среды в соблюдении трех процедурных требований: ответственности, прозрачности и информированной вовлеченности (участия заинтересованных лиц) в процессе принятия решений, закрепляя их в национальном законодательстве и регулирующих нормах и правилах.

В отечественном законодательстве проведение оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) предусмотрено Федеральным законом «Об экологической экспертизе» для всех видов намечаемой хозяйственной или иной деятельности. Применительно к пунктам хранения накопленных РАО, преобладающее число которых размещено внутри промплощадок организаций, риск радиационного воздействия на население при нормальной эксплуатации ниже уровня пренебрежимо малого риска ( $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>). Законодательное требование о том, что должны «приниматься меры по обеспечению полной радиационной безопасности окружающей среды»<sup>5</sup>, нашло свое развитие в регулирующем требовании «обеспечения надежной изоляции РАО от окружающей среды»<sup>6</sup>. Следовательно, наличие естественных и инженерных барьеров безопасности пунктов хранения и создаваемых ПЗРО, при выполнении проектных решений, должно гарантировать практически отсутствие радиационного

<sup>5</sup> Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды».

<sup>6</sup> Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности (НП-055-14).

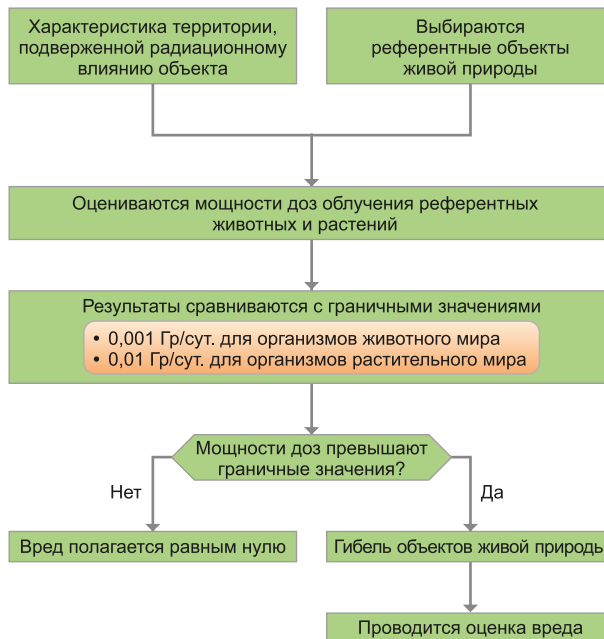


Рис. 1. Схема проведения оценки вреда окружающей среде

воздействия как на человека, так и на объекты биоты за пределами этих барьеров.

Откликом на радиоэкологические и этические нововведения МКРЗ стало включение требования об обязательной оценке вреда окружающей среде при обосновании возможности перевода объектов хранения РАО в ПЗРО<sup>7</sup>. В условиях крайне сжатых сроков впервые был разработан, апробирован и применен подход экономической оценки вреда окружающей среде от радиационного воздействия (рис. 1).

Разработанный подход был основан на крайне консервативном допущении. В качестве уровня граничных (референтных) доз, выше которого предполагалась гибель объектов биоты, был выбран уровень мощностей доз хронического облучения, при непревышении которого обеспечивается их радиационная безопасность — критерий допустимого радиационного воздействия на объекты биоты [4]. Так, для дождевого червя<sup>8</sup> допустимый уровень радиационного воздействия установлен в 10 мГр/сут. Между тем для наиболее радиационно-чувствительной стадии развития — кокона, биологические эффекты в виде сокращения выхода из кокона наблюдаются только начиная с 264 мГр/сут, а 50-процентная смертность для взрослых особей LD<sub>50/30</sub> составляет 650—680 Гр (108 Публикация МКРЗ).

<sup>7</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения РАО к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых РАО».

<sup>8</sup> Референтный вид биоты, который наиболее приемлем при обосновании безопасности ПЗРО.

Таблица 1. Критерий радиационного воздействия на референтные виды биоты [5]

Группы биоты (референтные объекты биоты)	Критерии экологически безопасного воздействия на объекты биоты (для скрининговой оценки), мГр/сут	Критерий допустимого радиационного воздействия на объекты биоты, мГр/сут
Млекопитающие (олень, мышь, утка, и др.)	0,1	1
Позвоночные животные (змея, рыба, лягушка и др.)	0,1	1
Сосна обыкновенная (pinus sylvestris)	0,1	1
Растения (трава, лишайник, кустарник, дерево, водные растения и др.)	1	10
Беспозвоночные (дождевой червь, пчела, моллюски, улитка и др.)	1	10

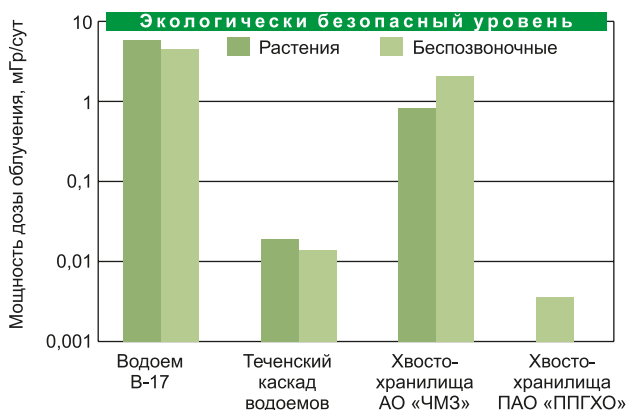


Рис. 2. Оценка максимальных мощностей доз облучения растений и беспозвоночных в районах размещения пунктов хранения особых РАО

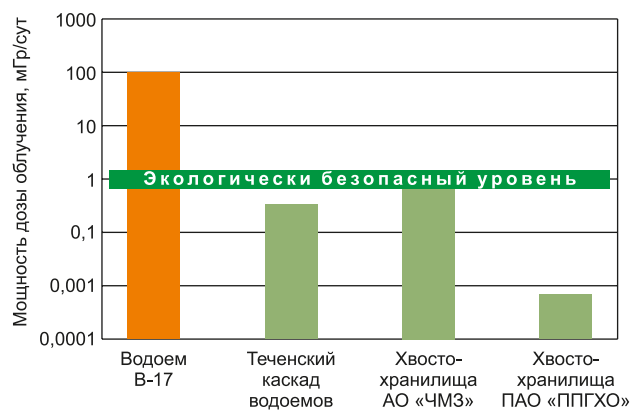


Рис. 3. Оценка максимальных мощностей доз облучения позвоночных представителей биоты в районах размещения пунктов хранения особых РАО

Разработанный подход лег в основу рекомендаций Росгидромета по мониторингу окружающей среды (таблица 1) [5, 6].

Примеры оценок максимальных мощностей доз облучения на отдельные виды биоты, обитающей в районах расположения пунктов хранения особых РАО, представлены на рис. 2 и 3.

Для большинства объектов оценки мощности дозы облучения референтных видов биоты оказались значительно ниже критериев допустимого радиационного воздействия (см. таблицу 1). Следовательно, монетарные оценки вреда объектам биоты при обращении с РАО наглядно демонстрируют, что для таких объектов хранения/размещения РАО вред отсутствует [4].

Тем не менее требование о приведении оценки радиационного воздействия при эксплуатации ПЗРО и после их закрытия (СанПиН, ФНП, ГОСТы и др. документы), в том числе на окружающую среду<sup>9</sup>, остается актуальным. При этом оценка мощности дозы облучения живых организмов консервативно должна оцениваться в непосредственной близости от объекта.

Для проведения расчетов воздействия на окружающую среду были заданы основные параметры РАО 3 и 4 класса и ПЗРО. Принималось,

что отходы омоноличены методом цементирования и размещены в контейнерах типа НЗК (3 класс). Принимая, что НЗК используется и как транспортный контейнер, он должен соответствовать требованию ГОСТ<sup>10</sup>, а именно: «мощность эквивалентной дозы в любой точке на его поверхности не должна превышать 2,0 мЗв/ч, а на расстоянии 1 м от поверхности не превышать 0,1 мЗв/ч». Толщина железобетонной стенки самого ПЗРО равна 40 см. Для оценки воздействия на окружающую среду при захоронении ОНРАО (4 класс) принималось, что отходы размещены в бочках, толщина защитного экрана из уплотненного грунта равна 15 см. В упаковках РАО размещены отходы, содержащие <sup>60</sup>Со и <sup>137</sup>Cs, с максимальными удельными активностями для РАО отдельных классов согласно критериям классификации РАО (см. сноску 7). В таблице 2 даны оценки суточной поглощенной дозы в почве на внешней границе инженерных барьеров безопасности ПЗРО.

Из данных таблицы 2 можно сделать вывод, что действующие требования безопасности, применяемые к контейнерам РАО и ПЗРО, обеспечивают защиту не только человека, но и

<sup>9</sup> Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности (НП-055-14).

<sup>10</sup> ГОСТ Р 51824-2001. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. Общие технические требования.

**Таблица 2. Пример оценки мощности дозы излучения на внешней границе инженерного барьера безопасности приповерхностного ПЗРО**

Категория РАО	Радионуклид	Максимальное значение удельной активности радионуклида, Бк/г	Мощность поглощенной дозы излучения, мГр/сут
НАО и САО	$^{137}\text{Cs}$	$2,7 \cdot 10^4$	0,01
	$^{60}\text{Co}$	$3,64 \cdot 10^5$	0,03
ОНРАО	$^{137}\text{Cs}$	$1 \cdot 10^5$	0,2
	$^{60}\text{Co}$	$1 \cdot 10^5$	2,0

окружающей среды. Требования к сроку службы контейнеров для захоронения (300 лет для НЗК, минимум 50 лет для специальных бочек и др.), сроку службы инженерных барьеров ПЗРО (на весь срок потенциальной опасности РАО), относительно короткий период потенциальной опасности отходов данных классов позволяют предположить, что критерии допустимого радиационного воздействия на объекты биоты не будут превышены в долгосрочной перспективе.

Сегодня на первый план выходят вопросы согласованности международных рекомендаций, документов Минприроды России, Роспотребнадзора, Ростехнадзора и Росгидромета [7]. В то же время вопрос вреда окружающей среде при надлежащем обращении с РАО можно считать почти исчерпанным.

### Биологические помехи

Говоря об ущербе окружающей среде при эксплуатации ОИАЭ, необходимо помнить и об обратной стороне медали — воздействии объектов живой природы на безопасное функционирование техногенного объекта.

Термин «биологические помехи» (далее — биопомехи), как правило, применяется к биологическим организмам, причиняющим вред санитарному состоянию водоемов, водоснабжению, ирригационным сооружениям, гидроэлектростанциям, атомным электростанциям и другим техническим сооружениям [8]. К основным биопомехам относят гидробионты, водные растения и микрофлору. Например, повышенная годовая продукция макрофитов и дрейссены в прудах-охладителях АЭС — свыше  $6 \text{ кг/м}^2$  и  $0,4 \text{ кг/м}^2$  соответственно, ведут к их прогрессирующей зарастаемости, мелководности [9]. В отношении промышленных объектов в России уже сформирован комплекс нормативных и технических требований (санитарно-гигиенических, пожарных и др.), направленных на безопасную эксплуатацию самих промышленных объектов. Биота, обитающая внутри объектов (водоемов, бассейнов, гидротехнических сооружений), либо технологически регулируется, либо уничтожается. Для промышленных

площадок установлены нормативы допустимого удаления деревьев и кустарников от производственных зданий и сооружений, предусмотрено создание минерализованных полос, вырубка кустарников, покос травы и т. д. На промплощадках, располагающихся в лесу, особое внимание уделяется борьбе с отдельными видами млекопитающих, например бобрами, которые создают запруды, что наносит вред как гидротехническим сооружениям, так и дорожным покрытиям ввиду повышения уровня воды. В рамках настоящей работы рассмотрим воздействие биологических организмов на пункты хранения особых РАО и ПЗРО, срок потенциальной опасности РАО в которых может исчисляться сотнями и тысячами лет.

Характерными объектами размещения особых РАО являются пункты хранения ЖРО, приповерхностные и заглубленные пункты хранения ТРО и хвостохранилища.

При эксплуатации таких уникальных объектов ядерного наследия, как водоемы ФГУП «ПО «Маяк», проводятся регулярные системные исследования местной флоры и фауны [10, 11]. Изучается биогенный вынос активности, в том числе по сложным цепочкам: комарами [12], рукокрылыми [13], утками и т. д.

Незначительный, на первый взгляд, процесс выноса активности из водоемов комарами-звонцами является достаточно серьезным путем распространения радионуклидов. Согласно проведенным оценкам, в год только с поверхности водоема В-10 ФГУП «ПО «Маяк» в окружающую среду переносится до  $2,8 \cdot 10^9$  Бк  $^{90}\text{Sr}$  и до  $2,4 \cdot 10^8$  Бк  $^{137}\text{Cs}$  [12], что составляет почти 0,001 % от накопленной активности этих радионуклидов в водоеме. В свою очередь, насекомые являются промежуточным звеном между водоемами и другими биологическими видами, например, летучими мышами. Уровни удельной активности радионуклидов в тушках особей прудовых ночниц из колоний рукокрылых в оздоровительном лагере «Звездочка», расположенном на расстоянии около 20 км от водоемов-хранилищ ЖРО ФГУП «ПО «Маяк», составляли в среднем 200 Бк/г  $^{90}\text{Sr}$  и 10 Бк/г  $^{137}\text{Cs}$  [13].

Наряду с выносом активности для открытых водоемов-хранилищ (Теченский каскад водоемов, В-6 и В-2) изучаются и положительно оцениваются процессы ускорения естественного очищения вод (осаждение и т. д. [14]), в том числе за счет процесса оседания взвешенных частиц и естественного образования донных отложений, обуславливающего вывод загрязняющих веществ из водной среды. Например, самоочищение водоемов В-10 и В-11 происходит как за счет радиоактивного распада, так и процесса седиментации (скорость образования донных отложений достигает 8 мм/год [15]). В этой сфере в целом водные организмы воспринимаются

как дополнительный инструмент перевода объектов в безопасное состояние.

В отношении пунктов хранения ТРО специальных радиоэкологических исследований не проводилось и действуют общие рациональные требования по поддержанию барьеров безопасности в рабочем состоянии или по борьбе с биопомехами в среднесрочной перспективе. Например, требование о периодической вырубке древесно-кустарниковой растительности на покрывающем экране и др. с целью недопущения его разрушения.

Требование по изоляции РАО от окружающей среды на весь срок их потенциальной опасности приводит к необходимости обеспечения работоспособности барьеров безопасности в течение длительных периодов. В таком ключе, для приповерхностных пунктов хранения особых ТРО и ПЗРО, биота, обитающая вне объектов (деревья, кустарники, животные и т. д.), становится источником биопомех, способных привести к потере барьерами безопасности своих свойств (разрастание корнями покрывающего экрана и т. д.), биота внутри объектов — к потенциальным выбросам, изменению температуры тела объекта.

Например, факт обитания в почве дождевого червя, который был выбран в качестве одного из референтных видов биоты, с радиологической точки зрения впервые был оценен при проведении обоснований отнесения РАО к особым [16]. С другой стороны, к нему, как биопомехе, следует обратиться и при обосновании долгосрочной безопасности пунктов приповерхностного захоронения РАО. Ч. Дарвин говорил, что невнимание к деятельности червей представляет собой «пример неспособности людей оценивать результаты, получающиеся от постоянно действующих причин». Проведенные еще в начале XX века исследования показали, что от 0,5 % (пустынно-степной тяжелой глинистый светлосзем) до 2 % (почвах северо-западного Алтая) объема почвы могут быть заняты ходами червей [17]. Данные ходы изменяют структуру почвы (повышают воздухопроницаемость, водопроницаемость, изменяют плотность), являются неотъемлемым условием разрастания корней растений как вглубь, так и в стороны. В свою очередь, высокие популяции червей приводят к росту популяции кротов и других животных. Другими словами, учет воздействия данного вида биопомех приобретает черты практически важной задачи, т. к. перечисленные процессы могут привести к нарушению целостности барьеров безопасности объекта на долгосрочный период.

Для ПЗРО, содержащих долгоживущие радионуклиды, важным фактором является влияние микроорганизмов на процессы биологической коррозии металлоконструкций, разрушения микроструктуры цементных компаундов с РАО. Пористая структура бетона способствует

вовлечению тионовых, нитрифицирующих и литотрофных бактерий, плесневых грибов и дрожжей в коррозионные процессы. Продуктами жизнедеятельности этих микроорганизмов являются агрессивные химические соединения: неорганические (азотная и серная) и органические (глюконовая, щавелевая, янтарная и др.) кислоты, сероводород, сульфиды, аммиак.

Микроорганизмы, как биопомехи, могут находиться непосредственно на поверхности, внутри защитных барьеров или на некотором удалении от них. Поэтому скорость и интенсивность воздействия агрессивных химических соединений, продуцируемых микроорганизмами, будет существенно различаться в вышеуказанных условиях пространственного распределения биообъектов. Это имеет значение для оптимизации мер по продлению приемлемых характеристик природных и инженерных барьеров безопасности.

Наиболее интенсивное развитие коррозии бетона и железобетона наблюдается в условиях техногенных сред. Высокая влажность, наличие органического вещества, жиров и продуктов их гидролиза, аммиака, растворов солей создают благоприятные условия для интенсивного развития активных в коррозионном отношении микроорганизмов. В этой связи важное значение для долгосрочной безопасности имеет соблюдение требований критериев приемлемости РАО для захоронения.

В России на протяжении ряда лет проводятся исследования влияния микроорганизмов на безопасность захоронения жидких РАО в глубоких геологических формациях, долгосрочного приповерхностного хранения твердых РАО, а также влияние самих отходов на экологическую безопасность [18].

Кроме этого, изучается вопрос влияния микроорганизмов на скорость миграции радионуклидов, образование комплексообразующих и агрессивных к минеральным породам соединений, формирование новых минеральных фаз, изменение биогенного газообразования и др. [19]. Микробиологические исследования подземных вод в зоне глубинного захоронения жидких РАО являются крайне актуальными сегодня, в том числе для обоснования безопасности закрытия объектов [20].

По этим причинам при выборе площадок захоронения удаляемых долгоживущих РАО требуется проводить в том числе исследования микроорганизмов, обитающих в геологических формациях.

## Заключение

Развитие новых подходов в системе радиологической защиты, включающих дополнительный учет влияния ионизирующего излучения на биоту и этических принципов, имеет особую

актуальность и особенности внедрения для ПЗРО.

В краткосрочном плане «защита расстоянием» путем создания санитарно-защитных и охранных зон крупных ОИАЭ является гарантией безопасности населения и объектов живой природы. Однако задача оценки долгосрочной безопасности будущих поколений и окружающей среды после закрытия ПЗРО и полного прекращения институционального контроля с учетом возможных сценариев деградации природных и инженерных барьеров становится актуальной. Концепции референтных животных и растений (RAPs) и референтных уровней (DCRLs) должны получить свое развитие в части адекватного учета видов флоры и фауны в местах размещения ПЗРО.

Учет негативного и позитивного влияния биопомех на долгосрочную безопасность ПЗРО является другим аспектом взаимовлияния антропогенных объектов и природы. Его следует проводить дифференцировано для этапов эксплуатации (периода действия лицензии) и постинституционального этапа. Здесь предлагается использовать аналог RAPs, ограниченный набор видов животных, растений и микроорганизмов, которые оказывают влияние на герметичность ПЗРО в различные периоды времени.

### Литература

1. *Алексахин Р. М., Булдаков Л. А., Губанов В. А.* и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под общ. ред. Л. А. Ильина и В. А. Губанова. — М., ИздАТ, 2001. — 752 с.
2. *Ярмоненко С. П., Вайнсон А. А.* Радиобиология человека и животных: Учебное пособие. — М.: Высш. шк., 2004. — 549 с.
3. *Большов Л. А., Ведерникова М. В., Линге И. И.* и др. От ВУРСа и Чернобыля — к системному обеспечению радиационной безопасности человека и биоты // Вопросы радиационной безопасности. 2018. № 2. С. 47—65.
4. Особые радиоактивные отходы / Под общ. ред. И. И. Линге. — М.: ООО «САМ полиграфист», 2015. — 240 с.
5. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки: Рекомендации Р 52.18.820-2015. — Утв. Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015. — 64 с.
6. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды: Рекомендации Р 52.18.852-2016, Р52/18/853-2016. — Утв. Росгидрометом Минприроды России 17.08.2016. — 56 с.
7. *Крышев И. И., Крышев А. И., Панченко С. В., Ведерникова М. В.* Критерии реабилитации загрязненных радионуклидами территорий размещения объектов использования атомной энергии // Радиация и риск. 2018. Т. 27. № 1. С. 33—42.
8. *Карпутов С. А., Попов А. В.* Биопомехи на АЭС: стратегии борьбы // Ежемесячный журнал атомной энергетики России. 2017. № 4. С. 42—46.
9. *Багров А. М., Автонов Ю. С.* Состояние естественного биопродукционного потенциала внутренних водоемов и методы его повышения // Известия ТСХА. 2005. Вып. 2. С. 78—88.
10. *Атаманюк Н. И., Пряхин Е. А., Осипова О. Ф.* и др. Исследование биоты озера Карачай перед его ликвидацией в 2015 году // Вопросы радиационной безопасности. 2016. № 3 (83). С. 3—16.
11. *Осипов Д. И., Попова И. Я., Пряхин Е. А.* и др. Накопление  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в тканях рыб специального промышленного водоема В-10 ПО «МАЯК» // Вопросы радиационной безопасности. 2016. № 4 (84). С. 57—63.
12. *Осипов Д. И., Дерябина Л. В., Попова И. Я.* и др. Вынос радионуклидов из радиоактивно загрязненных водоемов с комарами-звонцами // Вопросы радиационной безопасности. 2017. № 3 (87). С. 53—56.
13. *Смаргин А. И., Орлов О. Л., Дмитриева А. В., Завьялова И. В.* Накопление радионуклидов рукокрыльями (chiroptera), обитающими в районе предприятия ядерного топливного цикла на Южном Урале // Естественные и математические науки в современном мире. 2013. № 12. С. 170—175.
14. *Тимофеева-Ресовская Е. А., Агафонов Б. М., Тимофеев-Ресовский Н. В.* О почвенно-биологической дезактивации воды // Труды института биологии АН СССР, 1960. Вып. 13 : Сборник работ лаборатории биофизики. III УФАН СССР. С. 35—48.
15. *Попов В. А., Смирнов А. Б.* и др. Результаты фазово-минералогического анализа донных отложений водоемов №10 и 11 на р. Теча в районе Челябинска-65 : Отчет о НИР / УРО РАН, Миасс, 1992.
16. *Линге И. И., Ведерникова М. В., Уткин С. С.* и др. Оценка ущерба от радиационного воздействия на окружающую среду в районе расположения водоема Карачай // Вопросы радиационной безопасности. 2014. № 2 (74). С. 34—42.
17. *Чекановская О. В.* Дождевые черви и почвообразование. — М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. — 208 с.
18. *Ершов Б. Г., Сафонов А. В., Назина Т. Н., Горбунова О. А.* Влияние микробиологических процессов на безопасность обращения с РАО // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2012. № 1. С. 100—104.
19. *Сафонов А. В., Горбунова О. А., Герман К. Э., Захарова Е. В.* и др. Микробиологические аспекты хранения радиоактивных отходов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55, № 3. С. 293—301.
20. *Сафонов А. В., Захарова Е. В., Назина Т. Н., Познизов А. В., Зубков А. А.* Российский опыт микробиологических исследований подземных вод в зоне глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2018. № 3(4). С. 39—49.

## Информация об авторах

Савкин Михаил Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., 52), e-mail: mnsavkin@ibrae.ac.ru.

Ведерникова Марина Владимировна, кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., 52), e-mail: vmv@ibrae.ac.ru.

Панченко Сергей Владимирович, заведующий лабораторией, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., 52), e-mail: panch@ibrae.ac.ru.

## Библиографическое описание данной статьи

Савкин М. Н., Ведерникова М. В., Панченко С. В. Взаимное влияние объектов живой природы и пунктов захоронения радиоактивных отходов: экологическая и техническая безопасность // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 3 (4). — С. 30—38.

---

## MUTUAL INFLUENCE OF NON-HUMAN BIOTA AND RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FACILITIES: ENVIRONMENTAL AND ENGINEERING SAFETY

Savkin M. N., Vedernikova M. V., Panchenko S. V.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Article received 26 June 2018

*For a long time, radioactive waste management, including RW temporary storage or disposal, has been considered as one of the main factors producing negative impact on present and future generations. Development of new recommendations under the international system of radiological protection, including those associated with additional consideration of the influence produced by ionizing radiation on non-human biota and relevant ethical aspects, has required certain approaches to be developed enabling to assess the long-term safety of nuclear facilities not only for humans but also for non-human species. In addition, in the decision making regarding the use of particular safety barriers for radioactive waste (RW) storage facilities and relevant justifications biological impacts that can negatively affect the isolation of radioactive waste from the environment shall be considered as well. The article overviews the aspects associated with the interaction of anthropogenic facilities, namely RW disposal facilities, and biota species.*

**Keywords:** *biota, biological impacts, radioactive waste, long-term safety, environmental protection, environmental radiation damage.*

## References

1. Aleksahin R. M., Buldakov L. A., Gubanov V. A. i dr. *Kрупные радиационные аварии: последствия и защитные меры.* Pod obshch. red. L. A. Il'ina i V. A. Gubanova. Moscow, Izdat Publ. 2001. 752 s.
2. Yarmonenko S. P., Vajnsan A. A. *Radiobiologiya cheloveka i zhivotnyh:* Uchebnoe posobie. Moscow, Higher School Publ. 2004. 549 p.
3. Bol'shov L. A., Vedernikova M. V., Linge I. I. et al. From Eastern Urals Radioactive Trace and Chernobyl To Systematic Approach To Radiation Safety of Humans and Biota. *Journal of Radiation Safety Issues*, 2018, no. 2, pp. 47—65. (In Russian).
4. *Osobyе radioaktivnye othody.* Pod obshch. red. I. I. Linge. Moscow, "SAM poligrafist" Publ. 2015. 240 p.
5. *Ocenka radiacionno-ehkologicheskogo vozdeystviya na ob"ekty prirodnoy sredy po dannym monitoringa radiacionnoy obstanovki:* Rekomendacii R 52.18.820-2015. Utv. Rosgidrometom Minprirody Rossii 17.04.2015. 64 p.
6. *Poryadok rascheta kontrol'nyh urovnej soderzhaniya radionuklidov v ob"ektah prirodnoy sredy:* Rekomendacii R 52.18.852-2016, P52/18/853-2016. Utv. Rosgidrometom Minprirody Rossii 17.08.2016. 56 p.



7. Kryshev I. I., Kryshev A. I., Panchenko S. V., Vedernikova M. V. Kriterii rehabilitatsii zagryaznennykh radionuklidami territorij razmeshcheniya ob"ektov ispol'zovaniya atomnoj ehnergii. *Radiatsiya i risk*. 2018. T. 27. No. 1. Pp. 33–42.
8. Karputov C. A., Popov A. V. Biopomekhi na AEHS: strategii bor'by. *Ezhemesyachnyj zhurnal atomnoj ehnergetiki Rossii*, 2017, no. 4, pp. 42–46. Available at: <http://www.youblisher.com/p/1877659-REA-2017-04/>
9. Bagrov A. M., Avtonov YU. S. The methods of a natural bioproductive increase of reservoir potential. *Izvestiya TSKHA*, 2005, vol. 2, pp. 78–88.
10. Atamanyuk N. I., Pryahin E. A., Osipova O. F. et al. Study of Biota of the Lake Karachay Before its Covering in 2015. *Journal of Radiation Safety Issues*, 2016, no. 3 (83), pp. 3–16. (In Russian).
11. Osipov D. I., Popova I. Ya., Pryahin E. A. et al. Accumulation of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs in Tissue of Fish in Special Industrial Reservoir R-10 of Mayak PA. *Journal of Radiation Safety Issues*, 2016, no. 4 (84), pp. 57–63. (In Russian).
12. Osipov D. I., Deryabina L. V., Popova I. Ya. et al. Transfer of Radionuclides from Radioactive Contaminated Water Bodies with Chironomid Midges. *Journal of Radiation Safety Issues*, 2017, no. 3 (87), pp. 53–56. (In Russian).
13. Smargin A. I., Orlov O. L., Dmitrieva A. V., Zav'yalova I. V. Accumulation of Radionuclides by Chiroptera, Inhabiting Zone of Nuclear Fuel Cycle Facility in the South Urals. *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire*, 2013, no. 12, pp. 170–175.
14. Timofeeva-Resovskaya E. A., Agafonov B. M., Timofeev-Resovskij N. V. O pochvenno-biologicheskoy dezaktivatsii vody. *Trudy instituta biologii AN SSSR*, 1960. Vyp. 13 : *Sbornik rabot laboratorii biofiziki. III UFAN SSSR*. S. 35–48.
15. Popov V. A., Smirnov A. B. i dr. *Rezul'taty fazovomineralogicheskogo analiza donnykh otlozhenij vodoemov №10 i 11 na r. Techa v rajone Chelyabinska- 65: Otchet o NIR*. UrO RAN, , Miass, 1992.
16. Linge I. I., Vedernikova M. V., Utkin S. S. et al. Detriment Estimation Resulted from Radiation Impact on Karachai Water Body Environment. *Journal of Radiation Safety Issues*, 2014, no. 2 (74), pp. 34–42.
17. Chekanovskaya O. V. *Dozhdevye chervi i pochvobrazovanie*. M.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1960. 208 p.
18. Ershov B. G., Safonov A. V., Nazina T. N., Gorbunova O. A. Vliyanie mikrobiologicheskikh processov na bezopasnost' obrashcheniya s RAO. *Nuclear and Environmental Safety*, 2012, no. 1, pp. 100–104. Available at: <http://www.atomic-energy.ru/technology/39922>.
19. Safonov A. V., Gorbunova O. A., German K. E.H., Zaharova E. V. i dr. Mikrobiologicheskie aspekty hraneniya radioaktivnykh othodov. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2015, vol. 55, no. 3, pp. 293–301.
20. Safonov A. V., Zaharova E. V., Nazina T. N., Ponizov A. V., Zubkov A. A. Russian experience on microbiological investigation of groundwater from the zone of liquid radioactive waste deep burial. *Radioactive Waste*, 2018, no. 3(4), pp. 39–49. (In Russian).

---

### Information about the authors

*Savkin Mikhail Nikolaevich*, PhD, senior researcher, Nuclear Safety Institute of RAS (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: [mnsavkin@ibrae.ac.ru](mailto:mnsavkin@ibrae.ac.ru).

*Vedernikova Marina Vladimirovna*, PhD, researcher, Nuclear Safety Institute (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: [vmv@ibrae.ac.ru](mailto:vmv@ibrae.ac.ru).

*Panchenko Sergei Vladimirovich*, senior researcher, Nuclear Safety Institute of RAS (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: [panch@ibrae.ac.ru](mailto:panch@ibrae.ac.ru).

### Bibliographic description

Savkin M. N., Vedernikova M. V., Panchenko S. V. Mutual Influence of Non-Human Biota and Radioactive Waste Disposal Facilities: Environmental and Engineering Safety. *Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 30–38. (In Russian).