

УДК 621.039

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ 3-ГО И 4-ГО КЛАССОВ

Горин Николай Владимирович¹,
n.gorin@vniitf.ru

Кучинов Владимир Петрович²,
vkuchinov@bk.ru

Усанов Сергей Валерьевич³,
usv@igduran.ru

Васильев Альберт Петрович⁴,
avasiliev@nikiet.ru

¹ Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е.И. Забабахина, Россия, 456770, г. Снежинск, ул. Васильева, 13, а/я 245.

² Научно-исследовательский ядерный университет, Россия, 115409, г. Москва, Каширское ш., 31.

³ Институт горного дела УрО РАН, Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

⁴ АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежаля», Россия, 107140, г. Москва, ул. Малая Красносельская, 2/8, корп. 4.

Актуальность. Работы по выбору мест для захоронения радиоактивных отходов проводились во времена бывшего СССР и замедлились после его распада. Предложено вернуться к результатам этих работ и к самим работам, так как строящиеся пункты захоронения радиоактивных отходов 3-го и 4-го классов не справятся с захоронением их прогнозируемых объемов.

Цель: предложить, как одно из возможных решений, захоронение радиоактивных отходов 3-го и 4-го классов в свободном пространстве отработавших горных выработок, в том числе на действующих горнодобывающих предприятиях, и рассмотреть условия, от которых зависит их использование. Обратит особое внимание на информационную работу с населением, мнение которого может преобладать над всеми остальными аргументами.

Объекты: отработавшие и действующие горные выработки, накопленный объем отходов в мире и в России, выбор надежных источников информации, отечественный опыт захоронения отходов в горных выработках.

Методы. Рассмотрены возможности захоронения радиоактивных отходов с точки зрения действующих нормативных документов и опыта эксплуатации выработок.

Результаты. Отмечено, что при организации обращения с отходами обязательны консультации с общественностью и информирование населения. Указаны надежные источники информации о количестве радиоактивных отходов разных классов, образующихся в Российской Федерации, их распределении по регионам и крупнейшим предприятиям. Отмечено, что объемы радиоактивных отходов на два порядка меньше объемов твердых коммунальных отходов, но они привлекают большее внимание общественности и СМИ, и это следует учитывать при обращении с ними, организации их хранения и захоронения.

Ключевые слова:

Горные выработки, радиоактивные отходы, хранилище отходов, захоронение отходов, информирование населения.

Введение

Идея об использовании пространства отработавших подземных горных выработок, в том числе на действующих горнодобывающих предприятиях, для захоронения радиоактивных отходов, вынесенная в название статьи, не новая, известна давно, а отработавшие выработки используются для хранения и захоронения радиоактивных отходов (РАО) рядом стран [1–4]. В настоящей работе основной упор сделан на подземные выработки, хотя захоронение очень низкоактивных радиоактивных отходов допускается в наземных траншеях, т. е. в открытых выработках, отработавших или целенаправленно подготовленных.

Развитие атомной энергетики в России с введением до 2035 г. 12,2 ГВт мощностей новых энергобло-

ков АЭС, как это предусмотрено планами Правительства России, требует соответствующего внимания к обращению с РАО разного уровня активности. Принятая в Госкорпорации «Росатом» стратегия развития атомной энергетики (Стратегия-2018) в среднесрочной перспективе ~15–30 лет предполагает переход к двухкомпонентной ядерно-энергетической системе с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах (РБН) в едином замкнутом ядерном топливном цикле (ЯТЦ). Для её реализации потребуются решение сопутствующих проблем и соблюдение требований, в том числе в области безопасного обращения со всеми категориями РАО.

При этом следует отметить, что основные требования к атомной энергетике были сформулированы

еще в 1947 г. Э. Ферми – человеком с мировой известностью и авторитетом – и до сих пор сохраняют свою актуальность. В научной среде они известны как «Мечта Ферми» («Fermi's Dream»): безопасность, экономичность, решение проблем радиоактивных отходов и нераспространения ядерного оружия.

Для реализации «Мечты Ферми» в части РАО необходимо, чтобы объем действующих и планируемых к строительству пунктов хранения и захоронения РАО соответствовал объемам образующихся и прогнозируемых в стране количеств РАО. При этом следует иметь в виду, что РАО образуются не только в атомной отрасли, но и в других областях оборонной и хозяйственной деятельности.

Федеральным законом № 190-ФЗ от 11.07.2011 «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» создана правовая основа единой системы обращения с РАО в России для приведения РАО в безопасное состояние с последующим этапом их окончательной изоляции. При этом статья 4 Закона устанавливает различные элементы классификации РАО, важными из которых для целей настоящей статьи являются удаляемые радиоактивные отходы с разделением их для целей захоронения на различные категории в зависимости от их удельной активности: высокоактивные (ВАРАО), среднеактивные (САРАО), низкоактивные (НАРАО) и очень низкоактивные радиоактивные отходы (ОНРАО). Постановлением Правительства РФ от 19.10.12 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» определены шесть классов удаляемых радиоактивных отходов. Первые два относятся к твердым ВАРАО и долгоживущим САРАО, 3-й и 4-й – к САРАО, НАРАО и ОНРАО, а 5-й и 6-й – к жидким РАО и радиоактивным отходам, образующимся при добыче и переработке урановых руд, а также при

осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.

В РФ первый приповерхностный пункт захоронения твердых РАО 3-го и 4-го классов (ППЗРО) емкостью 23,5 тыс. м³ построен в районе г. Новоуральска, в эксплуатации он находится с 2016 г. Два ППЗРО – около г. Озерска, емкостью до 200 тыс. м³, и г. Северска, емкостью до 150 тыс. м³, находятся в стадии строительства. Пунктов захоронения твердых РАО 1-го и 2-го классов в России нет. Строящиеся пункты захоронения РАО позволяют захоронить только часть существующих и прогнозируемых твердых РАО 3-го и 4-го классов. Поэтому для захоронения оставшихся следует искать иные решения, одним из которых могло бы быть использование отработавших горных выработок, в том числе на действующих горнодобывающих предприятиях, расположенных вблизи мест образования отходов [5].

Количество радиоактивных отходов

ВАРАО и долгоживущие САРАО образуются на предприятиях, где осуществляется переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), обращение с поврежденным ОЯТ и его хранение. К ним относятся СХК (г. Северск, Томская область), ГХК (г. Железногорск, Красноярский край), ПО Маяк (г. Озерск, Челябинская область), хранилища АЭС и объектов ВМФ с выгруженными чехлами с ОЯТ. Их объемы относительно невелики, существенно больше по объёму образуется НАРАО и еще больше ОНРАО.

Табл. 1 иллюстрирует общемировые объемы хранения и захоронения РАО различных классов по состоянию на 2016 г. В настоящее время в мире захоронено 77 % твердых радиоактивных отходов (ТРО) очень низкой активности и 85 % ТРО низкой активности, которые вместе составляют более 95 % мирового объема РАО при соответственно ~0,5 и ~1,5 % накопленной активности.

Таблица 1. Объемы хранения и захоронения РАО различных классов в мире, м³ [6]

Table 1. Amount of stored and buried radioactive waste of different classes worldwide, m³ [6]

Категория РАО Waste category	ТРО/solid nuclear waste		ЖРО/liquid nuclear waste	
	Хранение Storage	Захоронение Disposal/Burial	Хранение Storage	Захоронение Disposal/Burial
ОНРАО/VLLW, very low level waste	2918000	11842000	1600	Нет данных No data available
НАРАО/LLW, low level waste	1471000	18499000	322000000	
САРАО/ILW, intermediate level waste	2740000	133000	98000000	
ВАРАО/HLW, high level waste	29000	0	6700000	

Объем накопленных РАО в Российской Федерации в 2018 г. составил $5,65 \cdot 10^8$ м³, из них относящихся к категории «ядерного наследия» – $5,53 \cdot 10^8$ м³, т. е. составляющие практически все отходы. Эти отходы были наработаны при создании ядерного оружия, и связанные с ними проблемы в настоящее время решаются.

В табл. 2 представлено распределение образовавшихся РАО по классам в 2020 г. в Российской Федерации [7].

Переведённые в твердые агрегатные формы ОНРАО, НАРАО и САРАО кондиционируют и упаковывают в невозвратные контейнеры непосредственно на предприятиях, на которых они образовались, для передачи национальному оператору по обращению с РАО. Следует отметить, что объем твердых бытовых отходов (ТБО) в целом по Российской Федерации примерно на два порядка превышает объем образующихся РАО, требующих захоронения. Так, например, в 2020 г. на территории Российской Федерации было образова-

но 48,5 млн т ТБО [7]. Несмотря на это, РАО привлекают гораздо большее внимание населения и СМИ, чем ТБО, которые также могут создавать реальные угрозы для окружающей среды и жизнедеятельности человека. Так, например, свалки ТБО вблизи аэропортов привлекают птиц, что создает реальные угрозы безопасности полетов, а периодически возникающие возгорания отравляют окружающий их воздух.

Таблица 2. Образовавшиеся РАО в Российской Федерации в 2020 г., тыс. м³

Table 2. Radioactive waste generated in the Russian Federation in 2020, thousand m³

Класс РАО Waste class	Образовавшиеся Generated/Formed		Переработанные Recycled	
	ТРО solid nu- clear waste	ЖРО liquid nu- clear waste	ТРО solid nu- clear waste	ЖРО liquid nu- clear waste
ОНРАО VLLW	871,19	Нет данных No data available	5,66	Нет данных No data available
НАРАО/LLW	2,28	630,49	0,72	299,884
САРАО/ILW	0,72	45,53	3,03	12,773
ВАРАО/HLW	0,18	26,21	0,02	26,972
Всего/Total	874,37	702,23	9,43	339,63

Оценка прогнозируемых объемов РАО на предприятиях Госкорпорации «Росатом» в среднесрочной перспективе представлена в [5].

Все РАО размещены в 50 регионах Российской Федерации на 174 предприятиях в 897 пунктах хранения РАО, включая места сбора и/или временного хранения РАО. При этом РАО с объемом более 1 тыс. м³ размещены всего на 58 предприятиях.

Более 96 % всех ЖРО относятся к категории низко-активных, их суммарная активность составляет 8,79·10¹⁵ Бк (менее 1 % от суммарной активности ЖРО), 88 % из этих ЖРО размещены в поверхностных водоемах-хранилищах ФГУП «ПО «Маяк». Часть средне-активных ЖРО изолирована от окружающей среды в ПГЗ ЖРО.

Высокоактивные ЖРО составляют менее 0,01 % от общего объема ЖРО, их активность – около 61 % от общей активности ЖРО. Все высокоактивные ЖРО находятся в специализированных зданиях и изолированы от окружающей среды.

Очень низкоактивные ТРО составляют 98 % от общего количества. Основная часть накоплена на ПАО «ППГХО» – предприятия, осуществляющем добычу урана.

Основная активность (около 80 %) сосредоточена в высокоактивных ТРО.

Масштабы накопленных и прогнозируемых РАО и ограниченные возможности строящихся пунктов их захоронения показывают, что для захоронения основной массы РАО 3-го и 4-го классов следует рассматривать возможность использования отработавших горных выработок, расположенных вблизи мест их образования.

Выбор мест для захоронения отходов

Работы по выбору мест для захоронения РАО проводились во времена бывшего СССР и замедли-

лись после его распада. Авторы полагают, что к результатам этих работ и к самим работам следует вернуться, так как прогнозируется заметный рост доли атомной энергетики в энергетическом балансе страны и, как следствие, будет нарастать объем РАО.

Изыскания подходящих участков для захоронения РАО проводились на архипелаге Новая Земля, Кольском полуострове, Южном Урале и в Красноярском крае. При проведении работ принималась во внимание не только чувствительность темы для местного населения, но и ряд экономических, социальных и политических условий. Так, концепция изоляции РАО в многолетнемерзлых породах разрабатывалась в конце прошлого века во ВНИПИ протехнологии. Анализ материалов по исследованию свойств пород давал основание считать, что они обладают высокими изолирующими свойствами и могут быть использованы для подземной изоляции РАО.

Работы проводились по всем направлениям, к ним был подключен ряд научных центров, подготовлены концептуальные проекты и обоснована их эффективность, результаты докладывались на конференциях и публиковались в научных изданиях, однако разработки вскоре были прекращены из-за отсутствия финансирования. В этой связи, если будет принято соответствующее решение, на первом этапе потребуются инвентаризация имеющихся архивных материалов, их систематизация и актуализация.

Необходимо отметить, что работы по реализации программ захоронения РАО в отработанных шахтах проводились и проводятся не только в бывшем СССР, но и в других странах, имеющих атомную энергетику. Подземные горные выработки отработанных месторождений относятся к категории объектов, повторная эксплуатация которых может быть экономически выгодна.

Условия захоронения отходов в отработавших выработках

На Урале почти все отработавшие шахты затоплены. На техническом этапе рекультивации ряда шахт распространено заполнение отработанных пустот промышленными отходами [8]. Состояние остальных отработавших шахт необходимо проверять по архивным материалам и запрашивать, возможно, на договорной основе в государственных службах статистики. Авторы не использовали информацию об отработавших горных выработках из интернета.

Конечно, в мире и в России имеется опыт восстановления разрушенных и затопленных шахт, однако предварительно необходим анализ экономической, экологической и социальной целесообразности такого восстановления. Проще будет направить внимание на действующие горнодобывающие производства, на которых образовались свободные выработки, изолированные от остального производства, но обеспеченные всей необходимой инфраструктурой. Известно, что практически на каждой шахте имеются отработанные и свободные выработки, доля которых по объему может быть значительна и достигать многих сотен и даже тысяч м³. Например, объем отработан-

ных камер на рудниках ПАО «ППГХО» составляет 1,5 млн м³ [5].

Захоронение в них РАО 3-го и 4-го классов не повлияет на радиационную обстановку в местах проведения основных работ, так как мощные слои горной породы обеспечат надежную радиационную защиту. Однако всё же будет необходим предварительный анализ социальных и юридических вопросов, так как горнодобывающие предприятия и пункты захоронения РАО эксплуатируются по разным нормам и правилам, а их совместная эксплуатация на одном предприятии неизбежно внесет свои особенности.

При выборе действующих шахт для захоронения отходов необходимо учитывать, что:

- ликвидированные и затопленные шахты пребывают в основном в бесконтрольном состоянии. Какие-то из них полностью затоплены, часть может быть доступной для спуска и обследования. Восстановление затопленных выработок для захоронения отходов – очень затратное мероприятие, успешность которого сомнительна даже после проектной проработки;
- наиболее подходящей для захоронения отходов будет действующая шахта, вырабатывающая свой ресурс из-за предстоящего вскоре истощения запасов добываемого материала. В этом случае на шахте работает вся инфраструктура – электроснабжение, вентиляция, водоотлив и спуск/подъем в шахту, имеется вся горно-геологическая документация, многочисленные данные по мониторингу подземных вод, процессам деформирования поверхности и устойчивости выработок;
- следует рассмотреть целесообразность создания в действующей шахте, эксплуатация которой планируется в течение достаточно продолжительного времени, специальной выработки для захоронения отходов, что, возможно, будет экономически выгодно. Столь же выгодным может оказаться использование открытых выработок для захоронения ОНРАО;
- в качестве помещений для хранения отходов пригодны далеко не все выработки в шахте. К подходящим можно отнести только капитальные выработки (штреки и квершлаг), устойчивость которых может быть долговременной. Чаще всего это выработки, крепление которых выполнено из бетона либо выработки, пройденные в крепких скальных горных породах. Вскрышные, подготовительные нарезные и очистные выработки, с высокой вероятностью, не подойдут из-за их размеров и низкой устойчивости;
- в шахтах присутствуют огромные «павильоны» выработанных пространств, но они специально погашаются принудительным обрушением, закладкой либо изоляцией. Чтобы сохранить или создать такие огромные устойчивые помещения, необходимо заранее предусмотреть их в проектах, которые бы позволили обеспечить устойчивость выработок для заполнения их отходами;
- скорее всего, не на каждой шахте технологическое оборудование сможет принимать крупногабарит-

ные контейнеры с отходами. В шахтном стволе может потребоваться специальная конструкция для погрузки и выгрузки контейнеров. Возможно, наиболее вероятным объектом станут шахты, имеющие штольни или спиральные спуски для автомобильного транспорта с дневной поверхности;

- дополнительным фактором опасности захоронения отходов в подземном пространстве является проблема деформирования горного массива под воздействием горных работ – сдвиги и горные удары, поэтому отходы следует размещать в безопасных местах вдали от влияния этих процессов [9];
- в подземном пространстве очень высокая влажность и часто агрессивные высокоминерализованные воды, которые будут разрушительно воздействовать на упаковку РАО [10–12];
- организация пункта захоронения отходов на действующем горнодобывающем предприятии потребует дополнительного финансирования и создания новых рабочих мест, но, скорее всего, положительно повлияет на социальную обстановку;
- при создании подземного пункта захоронения требуются прогнозы последствий при возникновении любых возможных ситуаций, включая связанные с проблемами ядерного нераспространения, которым уделяется немалое внимание в работах зарубежных исследователей [13].

Таким образом, для того чтобы использовать подземные выработанные пространства для захоронения РАО, необходимо на первом этапе определить условия их захоронения, а затем под эти условия подбирать горные предприятия, которые находятся на заключительном этапе своей эксплуатации и в стадии доработки своего ресурса. После согласования всех условий в шахте по специальным проектам можно создать особенные очистные выработанные пространства, которые будут превышать объемы штреков и квершлагов. С учетом допустимых условий захоронения РАО и состояния шахт пригодных объектов и мест для захоронения может оказаться немного.

Опыт использования отработавших горных выработок для захоронения отходов

Практика использования пространства отработавших горных выработок для захоронения реализована российскими специалистами на территории Республики Казахстан при захоронении отходов ядерной деятельности, оставшихся после завершения программы испытаний ядерного оружия на бывшем Семипалатинском полигоне. После его закрытия на его территории остались отработавшие выработки, содержащие отходы. Работы выполняли специалисты РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров, Нижегородская область), РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск, Челябинская область), РИ (г. Санкт-Петербург) и НЯЦ РК (г. Курчатов, Республика Казахстан) под руководством Госкорпорации «Росатом» и Агентства по атомной энергии Республики Казахстан при финансовой поддержке США [14].

При проведении работ осуществлялось бурение скважин в полость бокса выработки с отходами ядерной деятельности и заполнение его объема цементно-песчаным раствором или магнетитовым раствором, который не только обеспечивал физическую защиту, но и химически связывал отходы. Бурение проводили либо с дневной поверхности, либо изнутри (рисунок). После заполнения бокса, т. е. захоронения отходов, и создания дополнительных барьеров физической защиты выработка становилась безопасной. В результате была повышена безопасность бывшего Семипалатинского полигона и обеспечено усиление режима нераспространения ядерного оружия. О завершении работ по повышению безопасности полигона и одобрении ее результатов сообщено на встрече трех Президентов – Казахстана, России и США, в Сеуле в марте 2012 г.

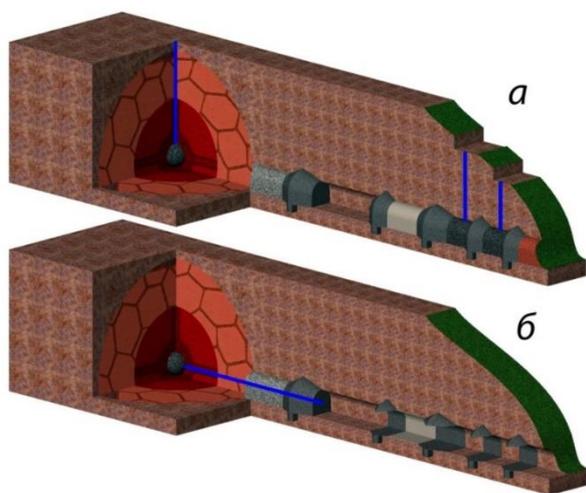


Рисунок. Схемы доступа в полости выработки с отходами ядерной деятельности при вертикальном (а) и горизонтальном (б) бурении

Figure. Schemes of access to mine cavities with nuclear waste for the case of vertical (a) and horizontal (b) drilling

На некоторых участках полигона была загрязнена дневная поверхность отходами ядерной деятельности. Они были собраны с поверхности и размещены в полости одной из свободных горных выработок.

Интуитивно ясно, что возможность использования произвольной отработавшей горной выработки для захоронения РАО 1-го и 2-го классов без серьезных финансовых и временных затрат на проведение исследований и доработок маловероятна. Технологии захоронения отходов регламентированы требованиями к свойствам горной породы, конструкциям выработки, коммуникациям, возможностям мониторинга обстановки в полости выработки и прогнозов на будущее. В то же время нормативные требования для захоронения НАРАО и ОНРАО значительно мягче, что позволяет, прежде всего, рассмотреть возможности их захоронения в отработавшей горной выработке, некоторые из которых окажутся пригодными для захоронения, хотя в нормативных требованиях к за-

хоронению ОНРАО остаются нерешенные вопросы [15, 16]. Можно согласиться с предложением, что практику захоронения РАО целесообразно начинать с наиболее простых задач с ОНРАО, объемы и активности которых на порядки отличаются от ВАРАО и САРАО [16].

Понятно, что использование отработавших горных выработок для захоронения РАО 3-го и 4-го классов будет определяться рядом условий, прежде всего технических, т. е. будет зависеть от состояния самих выработок, их количества, коммуникаций и объемов свободного пространства. К другим, но не менее важным, условиям относятся нормативные требования, которые предстоит ещё разработать, а также, что не менее важно, отношение населения, проживающего вблизи выработок, к использованию их в качестве пункта захоронения РАО, поскольку тема появления радиоактивных отходов вблизи его места проживания для него весьма чувствительна.

Взаимодействие с общественностью

В предисловии к [17] министром Минатома Е.О. Адамовым было отмечено, что «...Многие годы ядерные специалисты вообще не тратили время на работу с общественностью, считая, что власть предержащие обладают должной информацией и квалификацией для принятия правильных решений. В условиях авторитарного общества это было и оправдано, и разумно...». Однако в настоящее время ситуация кардинально изменилась и мнение общественности может даже преобладать над всеми остальными аргументами.

Такие вопросы, как обращение с РАО, нельзя рассматривать только с точки зрения экономики и соблюдения законодательных и нормативных требований в области безопасности. Известно, что общественное мнение, несогласное с предложенными действиями руководства радиационно-опасного объекта, считая, что вопросам безопасности уделено недостаточно внимания, почти всегда вынуждало реализовывать альтернативные решения, которые большей частью не являются оптимальными. Поэтому целесообразно учесть международный опыт заблаговременного взаимодействия с населением для подготовки общественного мнения в отношении использования отработавших горных выработок для захоронения РАО 3-го и 4-го классов [1]. Население, скорее всего, примет предложенные решения о захоронении РАО в горных выработках при условии открытого и честного диалога с использованием простых и очевидных аргументов с пониманием, что в памяти обычного гражданина сохранится один, в лучшем случае два аргумента [18–20].

Одним из них может стать утверждение, что, хотя ряд аспектов обращения с отходами 3-го и 4-го классов окончательно пока не определен [23], переход на атомную энергетику с быстрыми реакторами и замкнутым ЯТЦ позволяет найти решения проблем ядерной и физической безопасности, нераспространения ядерного оружия и обращения с РАО [21, 22].

Общая картина обращения с ОЯТ и РАО представлена на сайте ФГУП «НО РАО» и в «Национальных докладах Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасном обращении с радиоактивными отходами», представляемых на регулярные совещания государств-участников этой конвенции по её рассмотрению [24]. К настоящему времени подготовлено уже шесть таких докладов. Современное состояние отражено в последнем, шестом, докладе, который подготовлен, но в открытом доступе его пока нет [25]. Принимая во внимание, что кардинальных изменений в вопросах образования, переработки и захоронения РАО за последние годы не произошло, для представления общей картины ситуации с РАО в России можно использовать материалы пятого доклада. Приведенные в докладе численные значения могут измениться, но не очень сильно. Одновременно информация об отходах, в том числе и РАО, представляется в ежегодных государственных докладах о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации. Конкретные особенности обращения с РАО публикуются в журнале «Радиоактивные отходы», издаваемом ИБРАЭ РАН. Информацию этих изданий следует использовать преимущественно при обсуждении с населением вопросов обращения с РАО.

Вместе с тем работа с докладами и научными статьями требует соответствующей квалификации и образования, они могут быть рекомендованы журналистам, педагогам, депутатам, специалистам органов местного самоуправления для взаимодействия с населением по проблемам РАО. Для широких кругов населения подготовлены специализированные сайты и ежегодно выпускаются отчеты по экологической безопасности. В них, как правило, приводится лишь обобщенная информация о выполнении требований нормативной документации на конкретном радиационно-опасном объекте и в виде заключения отмечает-

ся, что радиационное воздействие на население в разы или даже на порядки меньше установленных уровней.

Заключение

Поскольку строящиеся пункты захоронения радиоактивных отходов в г. Озерске и г. Северске суммарным объемом 350 тыс. м³ позволят захоронить только часть существующих и прогнозируемых твердых отходов 3-го и 4-го классов, следует вернуться к опыту работ по выбору мест для их захоронения, начатых во времена бывшего СССР и замедлившихся после его распада. На первом этапе необходима инвентаризация архивных материалов с результатами выполненных работ, их систематизация и актуализация. В дальнейшем следует сосредоточить усилия на использовании отработавших и свободных горных выработок, в первую очередь на действующих горнодобывающих предприятиях для захоронения главным образом очень низкоактивных радиоактивных отходов. Следует также рассмотреть целесообразность создания в действующей шахте специальной выработки для захоронения отходов, что, возможно, будет экономически выгодно. Столь же выгодным может оказаться использование открытых выработок для захоронения отходов. Одним из возможных решений может оказаться захоронение радиоактивных отходов 3-го и 4-го классов в свободном пространстве отработавших горных выработок, в том числе на действующих горнодобывающих предприятиях, естественно при анализе всех условий, от которых зависит их использование. При этом особое внимание следует обратить на информационную работу с населением, мнение которого может преобладать над всеми остальными условиями.

Исследования частично выполнены в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПП, тема № (FUWE-2022-0003), рег. № 1021062010536-3-1.5.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор зарубежных практик обращения с ОЯТ и РАО. – М.: ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», 2022. URL: <https://www.norao.ru/waste/overview/> (дата обращения 05.03.2023).
2. Bjurström S. Storage of nuclear waste in Sweden // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 1989. – № 4 (2). – P. 139–142. DOI: 10.1016/0886-7798(89)90046-1.
3. Hocke P., Kallenbach-Herber B. Always the same old story? Nuclear waste governance in Germany // *Nuclear Waste Governance. Energiepolitik und Klimaschutz Energy Policy and Climate Protection* / Ed. by A. Brunnengräber. 2015. DOI: 10.1007/978-3-658-08962-7_8.
4. Application-oriented transdisciplinary basic research on nuclear waste management: hollow phrase or sensible concept? / K.-J. Röhligh, P. Hocke, P. Krütli, R. Martin, U. Smeddinck. 2021. DOI: 10.5194/sand-1-203-2021 URL: <https://sand.copernicus.org/articles/1/203/2021/> (дата обращения 05.03.2023).
5. Обоснование возможности размещения радиоактивных отходов 2 и 3 классов в подземном пространстве урановых рудников / Е.В. Кузьмин, А.В. Калакуцкий, М.А. Тарасов, А.А. Морозов // *Горная промышленность*. – 2020. – № 5. – С. 32–37. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-32-37
6. IAEA Nuclear Energy Series No NW-T-1 14 (Rev. 1). Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management. – Vienna, International Atomic Energy Agency, 2022. – P. 51–53.
7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. – 864 с.
8. Елохина С.Н. Техногенез затопленных рудников Урала: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Екатеринбург, 2014. – 352 с.
9. Геомеханические аспекты недропользования / А.Д. Сашурин, В.В. Мельник, А.Е. Балец, Т.Ш. Далатказин, С.В. Усанов, А.А. Панжин, Р.В. Криницын, И.Л. Озорнин, Т.Ф. Харисов, Ю.П. Коновалова, А.Л. Замятин, Д.В. Григорьев, А.С. Ведерников, А.В. Усанова, А.В. Зубков, Е.Л. Сосновская. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2022. – 256 с. DOI: 10.25635/j5035-6134-1492-n.
10. Sensitivity of pathogenic bacteria strains to treated mine water / C. Stoica, L. R. Dinu, I.E. Lucaci, V. Oncu, S. Gheorghe, M. Nita-Lazar // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. DOI: 10.3390/ijerph192315535 URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/23/15535> (дата обращения 05.03.2023).
11. Bascompta M., Sanmiquel L. Determination of the environmental conditions in an underground mine // *Proceedings of the 2nd International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*. – Barcelona, 2015. – P. 342.

12. Comprehensive assessment on the environmental conditions of abandoned and inactive mines in the Philippines / J. Samaniego, C.R. Gibaga, A. Tanciongco, R. Rastrullo, N. Mendoza, Ch. Darwin Racadio // ASEAN Journal on Science & Technology for Development. – 2020. – V. 37. – № 2. – С. 81–86. DOI: 10.29037/ajstd.623.
13. Casterton J., Vestergaard C. Back-end to the future: some safeguards considerations for multinational geological repositories // Technology&Trade, Stimson Center. 2020. URL: <https://www.stimson.org/2020/back-end-to-the-future-some-safeguards-considerations-for-multinational-geological-repositories/> (дата обращения 05.03.2023).
14. Технологии приведения Семипалатинского полигона в безопасное состояние / Н.В. Горин, М.В. Красносельских, В.Г. Смирнов, А.П. Васильев, А.Н. Андreyuk, С.В. Буренков, В.М. Куценко // Атомная энергия. – 2020. – Т. 129. – № 2. – С. 114–117.
15. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности НП-055-14 // Ядерная и радиационная безопасность. – 2015. – № 4 (78). – С. 59–87.
16. Абалкина И.Л. Опыт захоронения ОНАО: перспективы для России // Радиоактивные отходы. – 2018. – № 4 (5). – С. 15–23.
17. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию, «Белая книга-2000» / Ю.В. Сивинцев, С.М. Вакуловский, А.П. Васильев, В.Л. Высоцкий, А.Т. Губин, В.А. Данилян, В.И. Кобзев, И.И. Крышев, С.А. Лавковский, В.А. Мазокин, А.И. Никитин, О.И. Петров, Б.Г. Пологих, Ю.И. Скорик. – М.: ИздАТ. 2005. – 624 с.
18. Харви Ш. Стимулирование интереса молодежи к ядерной энергетике // Бюллетень МАГАТЭ. – Март 2021. – С. 20–21.
19. Бильбао-и-Леон С. Как заставить мир посмотреть на ядерную отрасль под другим углом // Бюллетень МАГАТЭ. – Март 2021. – С. 28–29.
20. Воспитание у населения востребованного отношения к атомной энергетике / Н.В. Горин, Н.Л. Абрамова, С.В. Нечаева, О.С. Головихина // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – № 87. – С. 7–18. DOI: 10.24412/2070-1381-2021-87-7-18.
21. Обеспечение режима ядерного нераспространения при экспорте реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым топливным циклом / Н.В. Горин, Н.П. Волошин, Ю.И. Чуриков, А.Н. Чебесков, В.П. Кучинов, А.П. Васильев, А.В. Моисеев, С.Ф. Шепелев, Д.А. Скворцов, С.И. Журин, В.В. Шидловский, А.В. Кривцов // Атомная энергия. – 2021. – Т. 130. – № 1. – С. 48–51.
22. Барьеры на путях ядерного распространения при экспорте российских быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ (на примере БРЕСТ ОД-300) / Н.В. Горин, Е.В. Кузнецов, В.П. Кучинов, А.Н. Чебесков, А.В. Моисеев, В.В. Шидловский, А.В. Кривцов // Вестник НЯЦ. – 2021. – № 4 (88). – С. 16–21. URL: <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-16-21> (дата обращения 05.03.2023).
23. Анализ требований нормативной базы Российской Федерации к захоронению очень низкоактивных радиоактивных отходов / Д.И. Павлов, В.В. Ирошников, Д.А. Максименко, А.В. Демин, Д.В. Сыченко // Радиоактивные отходы. – 2022. – № 1 (18). – С. 91–106.
24. Пятый национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасном обращении с радиоактивными отходами. 2017. URL: <https://rosatom.ru/upload/iblock/f28/f288b0bef11f34803223e48fba474d28.pdf> (дата обращения 05.03.2023).
25. О предоставлении шестого национального доклада Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасном обращении с радиоактивными отходами / А.А. Дорофеев, С.С. Уткин, Е.Г. Мамчиц, А.А. Самойлов, В.И. Дорогов // Радиоактивные отходы. – 2022. – № 3 (20). – С. 10–18.

Поступила: 03.04.2023 г.

Прошла рецензирование: 11.04.2023 г.

Информация об авторах

Горин Н.В., кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е.И. Забабахина.

Кучинов В.П., доцент, Научно-исследовательский ядерный университет Московский инженерно-физический институт.

Усанов С.В., кандидат технических наук, заведующий лабораторией сдвижений горных пород, Институт горного дела УрО РАН.

Васильев А.П., кандидат физико-математических наук, главный научный сотрудник, АО «НИКИЭТ им. Н.А. Доллежаля».

UDC 621.039

USE OF UNDERGROUND MINES FOR DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE OF THE 3RD AND 4TH CLASSES

Nikolay V. Gorin¹,
n.gorin@vniitf.ru

Vladimir P. Kuchinov²,
vkuchinov@bk.ru

Sergey V. Usanov³,
usv@igduran.ru

Albert P. Vasiliev⁴,
avasiliev@nikiet.ru

¹ Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics,
13, Vasilev street, 456770, Snezhinsk, Russia.

² National Research Nuclear University MEPhI,
31, Kashirskoe highway, 115409, Moscow, Russia.

³ Institute of Mining of Ural branch of RAS,
58, Mamin-Sibiryak street, Yekaterinburg, 620075, Russia.

⁴ JSC NIKIET,
2/8, Malaya Krasnoselskaya street, 107140, Moscow, Russia.

Relevance. Searching for the sites for radioactive waste disposal was carried out during the Soviet times and slowed down after the breakup of the USSR. It is proposed to return to the achieved results in this area and to get back to work on radioactive waste disposal site selection, since the disposal facilities for radioactive waste of the 3rd and 4th classes under construction will not be able to cope with the predicted amount of radioactive waste.

Purpose: to offer as one of possible solutions, to use the free space of exhausted mines for the disposal of radioactive waste of the 3rd and 4th classes, including exhausted mines at the existing mining enterprises, and to consider the conditions of their use; to pay special attention to promoting public awareness, since public opinion may prevail over all other arguments.

Subjects: exhausted and operating mines, accumulated amount of radioactive waste in the world and in Russia, selection of reliable sources of information, domestic experience of nuclear waste disposal in exhausted mines.

Methods. The paper considers the possibilities of nuclear waste disposal from the viewpoint of current regulations and mine operation experience.

Results. It is shown that waste handling necessitates public consultations and informing the population. Reliable sources of information on the amount of radioactive waste of different classes generated in the Russian Federation, as well as on their distribution by region and major enterprises are provided. It is noted that the amount of radioactive waste is two orders of magnitude less than that of municipal solid waste, but radioactive waste attracts more public attention in the media, and this should be taken into account when handling it, and organizing its storage and disposal.

Key words:

mines, radioactive waste, waste storage, waste disposal, promoting public awareness.

This work was partly supported by the State task № 075-00412-22 IIP, topic № (FUWE-2022-0003), № 1021062010536-3-1.5.1.

REFERENCES

1. *Obzor zarubezhnykh praktik obrashcheniya s OYaT i RAO* [Review of foreign practices of SNF and RW management. National Operator for Radioactive Waste management FSUE]. Moscow, Natsionalny operator po obrashcheniyu s radioaktivnymi otkhodami Publ., 2022. Available at: <https://www.norao.ru/waste/overview/> (accessed 5 March 2023).
2. Bjurström S. Storage of nuclear waste in Sweden. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 1989, no. 4 (2), pp. 139–142. DOI: 10.1016/0886-7798(89)90046-1.
3. Hocke P., Kallenbach-Herber B. Always the same old story? Nuclear Waste Governance in Germany. *Nuclear Waste Governance, Energiepolitik und Klimaschutz Energy Policy and Climate Protection*. Ed. by A. Brunnengräber. 2015. DOI: 10.1007/978-3-658-08962-7_8.
4. Röhlig K.-J., Hocke P., Krütli P., Martin R., Smeddinck U. *Application-oriented transdisciplinary basic research on nuclear waste management: hollow phrase or sensible concept?* 2021. DOI: 10.5194/sand-1-203-2021. Available at: <https://sand.copernicus.org/articles/1/203/2021/> (accessed 5 March 2023).
5. Kuzmin E.V., Kalakutskiy A.V., Tarasov M.A., Morozov A.A. Justification for possibility to dispose of class 2 and 3 radioactive waste in underground space of uranium mines. *Russian Mining Industry*, 2020, no. 5, pp. 32–37. In Rus. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-32-37
6. IAEA Nuclear Energy Series No NW-T-1 14 (Rev. 1). *Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2022. pp. 51–53.
7. *sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu. Gosudarstvenny doklad* [On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2020. State re-

- port]. Moscow, M.V. Lomonosov MSU имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 p.
8. Elokhtina S.N. *Tekhnogenez zatoplennykh rudnikov Urala*. Dis. Dokt. nauk [Technogenesis of flooded mines in the Urals. Dr. Diss.]. Ekaterinburg, 2014. 352 p.
 9. Sashurin A.D., Melnik V.V., Balek A.E., Dalatkazin T.Sh., Usanov S.V., Panzhin A.A., Krinitsyn R.V., Ozornin I.L., Kharisov T.F., Konovalova Yu.P., Zamyatin A.L., Grigoriev D.V., Vedernikov A.S., Usanova A.V., Zubkov A.V., Sosnovskaya E.L. *Geomechanical aspects of subsurface use*. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2022. 256 p. DOI: 10.25635/j5035-6134-1492-n.
 10. Stoica C., Dinu L.R., Lucaciu I.E., Oncu V., Gheorghe S., Nita-Lazar M. Sensitivity of pathogenic bacteria strains to treated mine water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022. DOI: 10.3390/ijerph192315535. Available at: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/23/15535> (accessed 5 March 2023).
 11. Bascompta M., Sanmiquel L. Determination of the environmental conditions in an underground mine. *Proceedings of the 2nd International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*. Barcelona, 2015. pp. 342.
 12. Samaniego J., Gibaga C.R., Tanciongco A., Rastrullo R., Mendoza N., Darwin Racadio Ch. Comprehensive assessment on the environmental conditions of abandoned and inactive mines in the Philippines. *ASEAN Journal on Science & Technology for Development*, 2020, vol. 37, no. 2, pp. 81–86. DOI: 10.29037/ajstd.623.
 13. Casterton J., Vestergaard C. *Back-end to the future: some safeguards considerations for multinational geological repositories*. Technology&Trade, Stimson Center, 2020. Available at: <https://www.stimson.org/2020/back-end-to-the-future-some-safeguards-considerations-for-multinational-geological-repositories/> (accessed 5 March 2023).
 14. Gorin N.V., Krasnoselskikh M.V., Smirnov V.G. Technologies for saving the Semipalatinsk test site. *Atomic Energy*, 2020, vol. 129, no. 2, pp. 108–111. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00711-0> (accessed 5 March 2023).
 15. Disposal of radioactive waste. Principles, criteria and basic safety requirements NP-055-14. *Nuclear and Radiation Safety*, 2015, no. 4 (78), pp. 59–87. In Rus.
 16. Abalkina I.L. VLLW disposal experience: perspectives for Russia. *Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 15–23. In Rus.
 17. Sivintsev Yu.V., Vakulovskiy S.M., Vasiliev A.P., Vysotskiy V.L., Gubin A.T., Danilyan V.A., Kobzev V.I., Kryshev I.I., Lavkovskiy S.A., Mazokin V.A., Nikitin A.I., Petrov O.I., Pologikh B.G., Skorik Yu.I. *Tekhnogennye radionuklidy v moryakh, omyvayushchikh Rossiyu, «Belaya kniga-2000»* [Technogenic radionuclides in the seas surrounding Russia «White Book-2000». Moscow, Izdat Publ., 2005. 624 p.
 18. Sinead H. Spurring youth interest in nuclear. *IAEA Bulletin*, 2021. pp. 20–21. In Rus.
 19. Sama Bilbao y León. Finding a new voice for nuclear. *IAEA Bulletin*, 2021. pp. 28–29. In Rus.
 20. Gorin N.V., Abramova N.L., Nechaeva S.V., Golovikhina O.S. Fostering respectful attitude towards nuclear industry. *Public Administration E-journal*, 2021, no. 87, pp. 6–24. In Rus. DOI: 10.24412/2070-1381-2021-87-7-18.
 21. Gorin N.V., Voloshin N.P., Churikov Y.I., Chebeskov A.N., Kuchinov V.P., Vasiliev A.P., Moiseev A.V., Shepelev S.F., Skvortsov D.A., Zhurin S.I., Shidlovskiy V.V., Krivtsov A.V. Nuclear non-proliferation security on exportation of fast reactors with a closed fuel cycle. *Atomic Energy*, 2021, no. 130, pp. 53–56. DOI: 10.1007/s10512-021-00773-0.
 22. Gorin N.V., Kuznetsov E.V., Kuchinov V.P., Chebeskov A.N., Moiseev A.V., Shidlovskiy V.V., Krivtsov A.V. Barriers to nuclear proliferation in the export of the Russian fast reactors with closed NFC (Using Example Brest-Od-300). *Vestnik NYaTs*, 2021, no. 4 (88), pp. 16–21. In Rus. DOI: 10.52676/1729-7885-2021-4-16-21.
 23. Pavlov D.I., Iroshnikov V.V., Maksimenko D.A., Demin A.V., Sychenko D.V. Analysis of the Russian Federation regulatory framework requirements for disposal of very low-level radioactive waste. *Radioactive Waste*, 2022, no. 1 (18), pp. 91–106. In Rus. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-91-106
 24. *Pyaty natsionalny doklad Rossiyskoy Federatsii o vypolnenii obyazatelstv, vytekayushchikh iz obedinennoy konventsii o bezopasnosti obrashcheniya s otrabotavshim toplivom i o bezopasnom obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami* [Fifth National Report of the Russian Federation on the fulfillment of obligations arising from the joint convention on the safety of spent fuel management and on the safe management of radioactive waste]. 2017. Available at: <https://rosatom.ru/upload/iblock/f28/f288b0bef11f34803223e48fba474d28.pdf> (accessed 5 March 2023).
 25. Dorofeev A.N., Utkin S.S., Mamchits E.G., Samoilo A.A., Dorogov V.I. On the presentation of the Sixth National Report of the Russian Federation on the fulfillment of obligations arising from the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. *Radioactive Waste*, 2022, no. 3 (20), pp. 10–18. In Rus. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-3-10-18.

Received: 3 April 2023.
Reviewed: 11 April 2023.

Information about the authors

Nikolay V. Gorin, Cand. Sc., senior scientist, Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics.

Vladimir P. Kuchinov, associate professor, National Research Nuclear University MEPhI.

Sergey V. Usanov, Cand. Sc., laboratory chief, Institute of Mining of Ural branch of RAS.

Albert P. Vasiliev, Cand. Sc., main researcher, JSC NIKIET.