



ПОДЗЕМНОЕ ХРАНЕНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрены горно-геологические материалы по площадке строительства подземного хранилища радиоактивных отходов. Начальную стадию обоснования объекта предложено выполнять на базе Закона «О недрах». Высказано мнение о недопустимости превращения временного хранилища в пункт постоянного захоронения радиоактивных отходов.

Ключевые слова: геология, подземное строительство, радиоактивные отходы, безопасность, Красноярск, Россия.



Комлев В.Н.
инженер-физик
komleva_ap@mail.ru

ВЗАТО Железногорск Красноярского края планируют построить хранилище радиоактивных отходов (РАО) второго класса опасности. Предполагается, что хранилище будет расположено на промышленной территории горно-химического комбината (ФГУП «ГХК») в скальном массиве Атамановского хребта. Цель – обеспечение хранения РАО второго класса на площадке ГХК в объемах, обеспечивающих потребности предприятия до момента готовности национального оператора по обращению с РАО (ФГУП «НО РАО») принимать эти отходы для окончательного захоронения.

Планируемый объект ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ (ОИАЭ) И НЕДР на срок до 30 лет войдет в состав контро-

лируемого и обслуживаемого подземного комплекса ГХК. Так ВРЕМЕННО ХРАНИТЬ эти отходы – неплохое, по всей видимости, решение. Это шаг в правильном направлении. Далее логично их захоронение в подземном комплексе Краснокаменска. Согласно научной идее Н.П. Лаврова и др. (ИГЕМ РАН) и техническим предложениям ПАО «ППГХО» [1], принятым ФГУП «НО РАО» [2]. Или в выводимых из эксплуатации рудниках ПАО «Норильский никель» (<https://proza.ru/2019/08/15/624>).

Общественности предлагается широко и детально обсудить материалы обоснования лицензии (МОЛ) Ростехнадзора (16.07.2024, www.admk26.ru/administratsiya/informatsiya/2024/) на осуществ-

ление деятельности «Создание на ФГУП «ГХК» хранилища РАО второго класса (г. Железногорск, Красноярский край)» (<https://o-v-o-s.ru/24/35134>). Общественные обсуждения в форме опроса 17.07.2024 - 19.08.2024, https://sibghk.ru/phr/view?id=263&pathToBack=phr%2Findex%3Fid_category%3D24; <https://bezrao.ru/n/7863>. Настоящая статья как раз и является откликом на государственной важности просьбу к разным профессиональным аудиториям и населению рассмотреть МОЛ – публичные материалы открытого доступа и в письменном виде предоставить индивидуальные замечания и предложения.

МОЛ рекомендуются к самостоятельному внимательному изучению в связи с подземными (пользование недрами) проблемами не только хранения, но и захоронения твердых и жидких РАО, а также из-за объективно усложненного нормативно-правового регулирования (Ростехнадзор и Роснедра) обращения с РАО применительно к соседним подземным ОИАЭ (<https://proza.ru/2023/06/16/625>; <https://proza.ru/2023/10/27/1173>; <https://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=10859>). Это принципиально важное новое обстоятельство территории ядерно-космического кластера (ГХК, АО «РЕШЕТНЁВ» и ФГУП «НО РАО»). Документ содержит информацию для понимания условий сосуществования в промышленной зоне Железногорска совокупности разных (включая оборонные) наземных и подземных объектов.

История документа

В 2022-2023 годах были подготовлены Книга 1 и Книга 2, ОВОС, тома 1 и 2 (приложение). После отрицательного заключения по ним государственной экологической экспертизы от 28.02.2024 №310/ГЭЭ – в 2024 году Книга 2, ОВОС, том 3 Дополнительные материалы.

Общими усилиями авторов МОЛ и экспертов ГЭЭ, совершенно уместно, приведены/обобщены (переломное событие!) **важные и обязательные в данном случае материалы по геологии, гидрологии и гидрогеологии** (суммарным объемом более 100 с.), полученные на этапах строительства и эксплуатации подземного комплекса ГХК, а также специальных натурных исследований в разные годы с применением скважин бурением с земной поверхности и из горных выработок.

Замечания и предложения к документу на хранилище РАО второго класса (РАО-2):

1) плохое качество некоторых скопированных карт в тексте и приложений (например, книга 2, том 2, с. 176-178);

2) лицензия на эксплуатацию пункта хранения РВ (радиоактивных веществ) просрочена (книга 2, том 2, с. 159);

3) справка о полезных ископаемых просрочена (книга 2, том 2, с. 355);

4) необходимо показать взаимоположение санитарно-защитной зоны хранилища РАО-2, площадки строящегося федерального пункта глубоководного/геологического захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) и горного отвода для ПГЗРО;

5) необходимо **ОБОСНОВАТЬ И ОФОРМИТЬ** создание ПОДЗЕМНОГО хранилища РАО-2, т.е. ПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДРАМИ промышленной территории Железногорска, **С ПОЗИЦИЙ** выполнения ЗАКОНА «О НЕДРАХ», который «содержит правовые и экономические основы комплексного рационального использования и охраны недр». В частности, предположительно, с позиций его статей 1, 2.1, 3 (п. 5 и 9), 6 (п. 2 и 4), 7, 8, 10.1, 11, 12, 12.1, 22, 23, 24, 27, 29 и некоторых других. Обращение к вопросам недропользования коррелирует с подходом ГЭЭ с позиций рационального использования и охраны недр (книга 2, том 3), а также – с обилием геологических материалов в рассматриваемом документе. Иными словами, **нужна опережающая лицензия на то или иное пользование недрами: для геологического изучения и оценки пригодности участка недр для строительства и эксплуатации подземных сооружений (хранилища РАО-2), не связанных с добычей полезных ископаемых, и/или для собственно строительства и эксплуатации хранилища РАО-2.** Такая лицензия предусмотрена и процедурой Производственного экологического контроля недр (книга 2, том 3, с. 148). А пока от **Роснедр (регулятор недропользования)** вряд ли обозначено наличие лицензии или вообще каких-либо разрешительных/признающих недр пригодными для заявляемой деятельности документов (например, протокол ГКЗ).

Некоторые гидрогеологические данные как пример характеристики первых 300 м массива гнейсов промышленной территории Железногорска

Водоносный комплекс гнейсов, вмещающих подземный комплекс ГХК. Глубина залегания трещинных вод колеблется от 1,85 до 59 м. Нижняя граница распространения трещинных вод определяется зоной усиленной трещиноватости гнейсов и равна, в среднем, 70 метрам. Ниже глубины 70-80 метров гнейсы считаются практически безводными. Наблюдаемый капёж в выработках на более глубоких горизонтах приурочен к участкам сильной трещиноватости, контакта даек с вмещающими породами или, в основном, к тектоническим зонам (книга 2, том 1, с. 53).

При проходке скважин фиксировали различной интенсивности поглощение промывочной жидкости и участки низкого выхода керна. От-

мечено, что зоны дробления и рассланцевания секут весь массив с глубины 50,5 м до глубины 280,0 м и поэтому могут играть существенную роль в обводнении нижних горизонтов массива. Судя по количеству поглощаемой жидкости, в интервале 50,5-62,5 м по скв. № 018 и в интервале 73-96 м по скв. № 023 порядка 0,9-1,0 л/сек и более, зоны дробления выполняют роль коллекторов трещинно-жильных вод. (книга 2, том 1, с. 56, 57, 58).

Отмечена также роль шахтных стволов как коллекторов воды из массива (там же, с. 59). Анализ распределения объемов вод, поступающих в горные выработки на всей площади подземного комплекса ГХК, показывает, что основные объемы вод поступают по закрепному пространству шахтных стволов и из зоны рассланцевания (с. 66). При подсечке зоны дробления шахтным стволом 301 величина водопритока составила 206,0 м³/сут (книга 2, том 3, с. 30).

Несомненный интерес представляет исходная, для широкого спектра инженерно-геологических условий, сводка опытных натурных данных (раздел 7.7 «Оценка фильтрационных параметров предполагаемых геологических зон распространения загрязнения», книга 2, том 1, с. 60-64). Масса определений коэффициента фильтрации и других параметров применительно к условиям, процессам и каналам фильтрации реального горно-геологического объекта (неоднородное природное геологическое строение рассматриваемого массива пород, гнейсовые породы разбиты дайками диабазов, зоны дробления и зоны рассланцевания, тектонические разрывные нарушения, зоны техногенной трещиноватости закрепного пространства горных выработок и шахтных стволов, искусственные неоднородности/пустоты скального массива – законтурное пространство горных выработок). Весьма познавательны интегральные оценки. Например, величина суммарного водопритока по всей площади горных выработок равна ~72,5 м³/сут. Обозначены технологические приемы осушения. Наличие водоотводящих тоннелей и зумпфов, расположенных ниже горизонта горных выработок, способствует снижению уровня воды в них, таким образом, почти весь водоприток, в закрепное пространство горных выработок, дренируется водоотводящими тоннелями и зумпфами.

Материалы моделирования раздела 7.7, которые соответствуют условиям «консервация объекта» и «10 000 лет», здесь не рассматриваем, так как они не относятся напрямую к задаче создания хранилища РАО-2 на 30 лет. Тем более, что не все опасности затопления упаковок с РАО (например, при аварии или консервации объекта) моделированием учтены – это корре-

лирует с замечанием 3 (возможно, также с замечаниями 4, 5 и 6) ГЭЭ (книга 2, том 3, введение и страницы 149, 150).

Гидрогеологический мониторинг подземных выработок ГХК включает измерение службой главного геолога объема притока грунтовых вод за период времени (книга 2, том 3, с. 145). Изученность участка работ (там же, разделы 1.1 и 1.3.4) в целом неплохая. К настоящему времени сформирован банк данных, включающий в себя результаты многолетних наблюдений за величинами водопритоков в выработки и замеры уровня подземных вод по скважинам режимной сети (там же, с. 12). Среди вскрытых участков горного массива в 10 % выработок (от их общей протяженности) наблюдались водопритоки (напеч, влажность), что соизмеримо с объемом в горном массиве зон разрывных нарушений (там же, с. 33). Полученные в результате опытных работ значения коэффициента фильтрации колеблются по скважинам 1962 г. от 0,004 до 0,09 м/сут, в 2014-2015 г. от 0,009 до 0,32 м/сут, по данным изысканий 2022 года от 0,008 до 0,056 м/сут. Можно сделать вывод, что больших изменений за прошедший период времени (почти 70 лет) в гидродинамическом режиме горного массива не произошло (там же, с. 34). Необходимо заметить, что приведенные значения отражают не самый лучший уровень качества массива, предназначенного для изоляции РАО. Например, международным проектом NUCRUS 95410 критерием пассивной защиты для ПГЗРО Северо-Запада России было принято условие по коэффициенту фильтрации менее 0,001 м/сут [3].

Таким образом, в диапазоне глубин до 300 м массив гнейсов явно не соответствует бытовавшей публичной для Енисейского проекта характеристике «километры на километры без трещин и воды». В настоящее время достаточно подробные геологические материалы по этой части не только обнародованы, но и позиционированы (пожалуй, впервые по-настоящему) как объект/предмет открытого обсуждения.

Мнение о пригодности/непригодности сочетания гидрогеологической обстановки и технических особенностей подземных объектов промышленной территории

Наибольшую опасность представляют гидрогеологические факторы. Подземные воды должны как можно меньше или совсем не проникать в объект, их коэффициент фильтрации должен быть минимальным (ПРоАтом от 09.08.2024, «Наша задача – максимально обезопасить ядерные отходы»).

1. Применительно к созданию хранилища РАО-2.

Сочетание пригодно. Горно-геологическая служба ГХК и геотехнические системы дренажа 60 лет успешно демпфировали неприятности. И последующие 60 лет удержат ситуацию.

2. Применительно к созданию ПГЗРО (в том числе, федерального на участке «Енисейский» так называемого Нижнеканского массива).

Непригодно. Захоронение РАО должно пассивными средствами обеспечить безопасность сотни тысяч и до миллиона лет при полной автономности ПГЗРО после его строительства и заполнения радиоактивными упаковками. Целевой горизонт после консервации объекта, вероятно, будет затоплен. Прежде всего, по вертикальным стволам-коллекторам. Неоднородная забутовка внутреннего свободного пространства стволов и горизонтальных выработок с готовой бетонной обделкой измельченным/гранулированным природным бентонитом не поможет. Это не есть медленный природный процесс качественного осадконакопления без структурных дефектов слоя глины на больших свободных морских акваториях. Бентонит в контакте с динамично дренирующей природной водой и продуктами встречного массопереноса от упаковок РАО вряд ли сохранит требуемое время себя и свои гидроизолирующие свойства. Кроме того, в закреплённом пространстве бентонита не будет (разместить его там нельзя по технологии подземного строительства). Срок сохранности бетонной/железобетонной обделки/крепей выработок без ее и дренажной системы предприятия обслуживания, контроля и ремонта (а также без периодического уточнения на основе скважинных исследований гидродинамического режима горного массива в ближней зоне выработок) не превысит 100-150 лет. Вне зон условной гидроизоляции бентонитом внутренних участков выработок, в бетоне крепи возникнут дополнительные эффективные каналы поступления воды в ПГЗРО. Напомним, что использование вертикальных стволов – единственный назначенный при создании федерального ПГЗРО способ вскрытия подземного пространства до целевого горизонта и доставки впоследствии туда упаковок с РАО.

Реально объем воды в зоне захоронения по варианту атмосферных осадков значимо будут определять характеристики и неисчерпаемый ресурс вышележащих водопроводящих слоев пород, а не пород целевого интервала. Известно, что радиоактивные отходы длительное время излучают тепло. По разным оценкам, около 200-300 лет температура их, инженерных барьеров и окружающего массива будет порядка 150-180° (ПрОАтом от 09.08.2024, «Наша задача – максимально обезопасить ядерные

отходы»). Даже без подпитки из других источников, затопленный ПГЗРО быстро превратится в поставщика горячей воды и радиолитических газов. Где и как они будут распространяться в массиве (что весьма вероятно) и по выработкам ПГЗРО в настоящее время без давно назревших геохимической (прежде всего, газовой) съемки и трассерных исследований (<https://proza.ru/2023/10/27/1173>) установить нельзя.

Серьезная опасность в связи с радиолизом воды при захоронении РАО в практическом плане известна давно ([4], с. 113-115; [5], раздел «Общие подходы»). Ненадежность бетона и других материалов при гидроизоляции хранилища/могилища РАО в сверхдолговременном контексте также доказана (<https://bezrao.ru/n/8002>; <https://bezrao.ru/n/7938>). Сохранность свойств бентонита и его стабильность в модельных условиях эксплуатации глубинного захоронения на участке «Енисейский» впервые лишь начали недавно (с 2022 г., ФЦП ЯРБ-2, Обоснование выбора глинистых материалов для разработки инженерных барьеров безопасности при изоляции РАО в ПГЗРО на участке недр «Енисейский», схема скважинного варианта) оценивать на уровне экспериментов в лабораторных сосудах [6; Проект «Минеральные трансформации в мультибарьерной системе при изоляции радиоактивных отходов в геологических формациях как индикатор прогноза обеспечения безопасности захоронения», 2022-2024, <https://rscf.ru/project/22-17-00252/>]. К этому важному начинанию есть вопросы даже для рассмотренных стационарных взаимодействий бентонита с аналогом поровой воды, выщелатами бетонов и продуктами коррозии стали, вне динамики дренирующей воды и радиационных полей, при слабом соответствии модельных условий уже заложенным в проектные решения вариантам применения бентонита.

Заключение

Опубликованные горно-геологические материалы ГХК показывают возможность контролируемого временного хранения РАО-2 в существующих подземных выработках. Поскольку хранилище РАО-2 будет объектом использования как атомной энергии, так и недр, то материалы ГХК должны удовлетворять нормам Закона «О недрах». Одновременно эти материалы серьезно дополняют и усиливают прежнюю аргументацию в части опасности, например, федерального ПГЗРО в недрах промышленной территории Железногорска. Кроме того, в отношении планируемого хранилища РАО-2 в будущем никогда не должно возникать предложение о переводе его в ПУНКТ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО

ВТОРОГО КЛАССА НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ. Действующее законодательство и результаты/опыт прошлых геотехнических проектов формируют ограничения для будущих.

В МОЛ приведены не отвлеченные/вне строительства и эксплуатации объекта горно-геологические характеристики массива, а важные для практики и выявленные конструктивными особенностями крупного подземного комплекса за 70 лет (**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЫРАБОТОК С ГОРНЫМ МАССИВОМ!**). Во Введении приведены ссылки на официальную открытую публикацию заказчиком общественных слушаний ГХК в Интернете в полном объеме с печатями и подписями материалов. Обратите дополнительное внимание на архив общественных слушаний/обсуждений https://sibghk.ru/phr/index?id_category=24. Такой положительной практике публикации документов Росатома уже несколько лет. И материалы по объекту ГХК (подземное хранилище РАО-2) ЗАКАЗЧИКОМ ОБСУЖДЕНИЙ публикуются уже второй год. При этом не вызывает сомнения факт, что Росатом по определению не публикует открыто конфиденциальную информацию.

Эти существенно прояснившие ситуацию материалы ГХК (которые участники Енисейского проекта как бы не знают), несомненно являясь коренными, обязательно и навечно войдут в базу исходных данных не только для хранилища РАО-2, но и для федерального ПГЗРО. Они во многом будут формировать будущие

управленческие и проектные непререкаемые авторитетные решения. И никакие мудреные исследования в планируемой Подземной исследовательской лаборатории (тем более, вторичное математическое моделирование на основе их результатов) не изменят в части главных эксплуатационных характеристик основного, природного, барьера безопасности статус опубликованных материалов ГХК по взаимодействию выработок с горным массивом как готовых достижений высшего научно-технического уровня – своеобразного абсолютного арбитра по важным вопросам горно-геологической обстановки.

При нынешних подходах ФГУП «НО РАО», ИБРАЭ РАН, их партнеры и за 100 предстоящих лет ничего принципиально нового о 300 метрах верхней части массива в сочетании с немного смещенными по месту и до глубины 500 метров выработками не получат. Принципиально новые материалы могут быть получены при трассерных экспериментах (включая геохимическую съемку), которых избегают. И словесная замена гнейсов промышленной территории Железногорска на некий «Нижнеканский массив» не поможет. Кроме того, при детальном/настоящим образом изучении пород на глубине 500 метров и ниже (подошва ПГЗРО) не исключены сюрпризы уже глубинной природы, обусловленные близостью участка работ к глобальному глубинному разлому земной коры, маркируемому Енисеем. ❶

Литература

1. Кузьмин Е.В., Калакуцкий А.В., Морозов А.А. Технология захоронения радиоактивных отходов в пространстве подземных рудников // Радиоактивные отходы. 2021. № 2 (15). С. 49—62.
2. Кузьмин Е.В., Маянов Е.П., Игин И.М. и др. Обоснование параметров технологии захоронения РАО 2 и 3 классов в пространстве подземных рудников ПАО «ПГХО» // Радиоактивные отходы. 2022. № 1 (18). С. 62—76.
3. Melnikov N.N., Konukhin V.P., Komlev V.N. et al. Improvement of the Safety of Radioactive Waste Management in the North West Region of Russia. Disposal of Radioactive Waste. TACIS Project. NUCRUS 95410. Task 3. Report. Apatity – Orlean. Russian Federation – France. 1998.-270p.
4. Конухин В.П., Комлев В.Н. Ядерные технологии и экосфера. Апатиты. 1995. 339 с.
5. Мельников Н.Н., Конухин В.П., Комлев В.Н. Материалы на основе минерального и техногенного сырья в инженерных барьерах для изоляции радиоактивных отходов. Апатиты. 1998. 94 с.
6. Морозов И.А. Преобразования бентонитовых барьерных систем в модельных условиях глубинного захоронения радиоактивных отходов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва. 2024.

UDC: 504.05

V.N. Komlev, engineer-physicist, Apatity, Russia, komleva_ap@mail.ru

UNDERGROUND STORAGE AND DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE

Abstract: Mining and geological materials for the construction site of an underground radioactive waste storage facility were reviewed. It is proposed to carry out the initial stage of justification for the object on the basis of the Law «On Subsoil». The opinion was expressed that it is inadmissible to transform a temporary storage facility into a permanent disposal site for radioactive waste.

Keywords: geology, underground construction, radioactive waste, safety, Krasnoyarsk, Russia.