

621
3-387

ЗАХОРОНЕНИЕ РАО НА УЧАСТКЕ ЕНИСЕЙСКИЙ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

**История выбора площадки
и современное состояние
исследований**



ЗАХОРОНЕНИЕ РАО НА УЧАСТКЕ ЕНИСЕЙСКИЙ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

**История выбора площадки
и современное состояние
исследований**

Ответственные редакторы

доктор геолого-минералогических наук

Б. Т. КОЧКИН

доктор технических наук

И. И. ЛИНГЕ



МОСКВА НАУКА 2024

УДК 621.039.7
ББК 31.4 + 26.35
338

DOI: 10.7868/9785020411067

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент
РАН (ИГЕМ РАН) С. В. Юдинцев,
доктор технических наук (ФГУП «ПО «Маяк») Ю. Г. Мокров

**Захоронение РАО на участке Енисейский в Красноярском крае:
история выбора площадки и современное состояние исследований.** —
М.: Наука, 2024. — 368 с. — ISBN 978-5-02-041106-7

Настоящая работа освещает историю выбора площадки для глубинного захоронения РАО в контексте хронологии проведения предшествующих изысканий. Процесс выбора участка недр для глубинного захоронения РАО в России, начатый в 80-х гг. прошлого века, представлен в сравнении с опытом зарубежных стран. В монографии системно изложена последовательность выбора участка Енисейский и дан детальный обзор геологической информации в разных масштабах от регионального до локального на выбранном участке. Показано, что выбор участка Енисейский обусловлен не только широкой совокупностью свойств геологической среды, определяющей его приемлемость для размещения ПГЗРО, но также социальными и экономическими факторами. В завершение очерчены остающиеся неопределенности и пути их устранения в ходе дальнейших исследований в контексте оценки долговременной безопасности захоронения РАО в соответствии с действующими законами и нормативными документами.

Для широкого круга заинтересованных специалистов, руководителей предприятий атомной отрасли и общественности.

ISBN 978-5-02-041106-7

© Госкорпорация «Росатом», 2024
© ИБРАЭ РАН, 2024
© ФГБУ Издательство «Наука»,
редакционно-издательское
оформление, 2024

553240



Оглавление

Введение	5
Литература.....	10
Глава 1. ПГЗРО как объект Единой государственной системы обращения с РАО	11
1.1. Экологичность технологии и общественного сознания	12
1.2. Выработка требований к объекту.....	15
Литература.....	19
Глава 2. Основные подходы к выбору района и участка размещения объектов глубинного захоронения РАО и ОЯТ	21
2.1. Международный и отечественный опыт принятия решений по процедуре выбора места	23
2.1.1. Методология выбора места	24
2.1.2. Примеры национальных программ выбора места	26
2.2. Критерии выбора потенциально пригодной геологической среды для размещения объекта окончательной изоляции РАО.....	36
2.2.1. Принципы выбора геологической среды для пунктов захоронения РАО.....	37
2.2.2. Критерии пригодности геологической среды	38
2.2.3. Сравнение потенциально пригодных пород	39
2.3. Краткая геологическая характеристика зарубежных участков проектируемых хранилищ РАО в древних кристаллических горных породах.....	41
2.3.1. Форсмарк, Швеция	41
2.3.2. Олкилуото, Финляндия.....	50
2.3.3. Синьчан, Китай	57
Заключение	61
Литература.....	63
Глава 3. Ранняя история геологических исследований в России с целью выбора района размещения хранилищ РАО.....	68
3.1. Архипелаг Новая Земля.....	71
3.1.1. Криолитозона Южного острова архипелага Новая Земля	72
3.1.2. Район губы Башмачная.....	73
3.1.3. Район залива Рейнеке	76
3.2. Кольский полуостров	77
3.2.1. Особенности геологических условий потенциальных участков захоронения РАО на Кольском полуострове.....	78
3.2.2. Международное сотрудничество в изучении альтернативных участков	80
3.3. Южный Урал (ПО «Маяк»).....	81
3.3.1. Общие сведения о геологическом строении территории ПО «Маяк» и ее обрамления	82
3.3.2. Геолого-геофизические исследования.....	87
3.4. Красноярский край (обзорные работы 1992–1993 гг.)	93
3.4.1. Геологическая характеристика Нижнеканского массива и его обрамления	95
3.4.2. Новейшая и современная тектоническая активность региона.....	119
3.4.3. Оценка сейсмической опасности	130
Заключение	137
Литература.....	138
Глава 4. Геологические исследования в пределах Нижнеканского массива и его обрамления с целью выбора участка (выбор окончательного места 1993–2008 гг.)	145
4.1. История исследований.....	145
4.1.1. Этап изучения Южно-Енисейского кряжа	146
4.1.2. Этап изучения участков Итатский и Каменный	148
4.1.3. Этап изучения участка Енисейский	148
4.1.4. Этап сравнительной оценки альтернатив и окончательного выбора места.....	153
4.2. Участок Верхнеитатский (участки Итатский и Каменный)	154
4.2.1. Виды, методы и эффективность выполненных работ	154
4.2.2. Основные черты геологического строения.....	157
4.2.3. Гидрологические и гидрогеологические условия.....	160
4.2.4. Особенности участков Итатский и Каменный	162

4.3. Участок Енисейский. Исследования 2002–2005 гг.	165
4.3.1. Задачи и методы выполненных работ	165
4.3.2. Результаты геолого-структурных исследований.....	172
4.3.3. Гидрогеологические условия	184
4.4. Результаты исследований в подземном комплексе ГХК	188
4.4.1. Общая характеристика геологических условий	188
4.4.2. Направления и задачи исследований	189
4.4.3. Обзор результатов исследований.....	190
Заключение	204
Литература.....	205
Архивные документы и материалы.....	207
Глава 5. Детальная характеристика участка Енисейский. 2009–2015 гг.	209
5.1. Геологическое строение и вмещающие породы	221
5.1.1. Петрографические особенности пород скального массива	221
5.1.2. Структурно-тектонические особенности участка	234
5.1.3. Геолого-структурная 3D-модель блока, изученного глубокими скважинами	244
5.2. Гидрогеологические условия	261
5.2.1. Общая характеристика.....	261
5.2.2. Результаты опытно-фильтрационных работ	265
5.2.3. Гидрогеохимические условия участка	268
5.3. Гидрогеологические модели	273
5.3.1. Модель ИБРАЭ РАН	273
5.3.2. Модель СПБО ИГЭ РАН.....	288
5.4. Результаты инструментальных наблюдений за современными движениями земной коры	308
Заключение	318
Литература.....	320
Архивные документы и материалы.....	324
Глава 6. Основные аспекты оценки безопасности	327
6.1. Геологические особенности, события и процессы, важные для обеспечения безопасного размещения ПГЗРО на участке Енисейский	327
6.1.1. Внешние геологические факторы	327
6.1.2. Факторы из группы «Геосфера»	330
6.2. Разработка геологической модели площадки проектируемого ПГЗРО	338
6.3. Разработка геофильтрационных и геомиграционных моделей	340
6.3.1. Концептуальная модель.....	340
6.3.2. Геофильтрационная схематизация	340
6.4. Предварительные оценки безопасности	342
Заключение	343
Литература.....	344
Архивные документы и материалы.....	345
Глава 7. Приоритетные направления получения уточненной геологической информации для обоснования долговременной безопасности ПГЗРО	346
Заключение	350
Литература.....	350
Архивные документы и материалы.....	350
Заключение.....	351
Литература.....	362
Архивные документы и материалы.....	364
Принятые сокращения	365
Авторский коллектив	367

Введение

Главный вопрос монографии в контексте более общей проблемы захоронения радиоактивных отходов (далее РАО) в геологических формациях [1] объединяет в себе, как представляется авторам, процессы и события, которые вызывают весьма осязаемые на историческом масштабе дискуссии и влекут за собой длинную цепочку следствий, хотя по своему научному содержанию спорными не являются.

Для детализации этого тезиса и одновременно первого пояснения относительно структуры монографии сравним выбор места размещения объекта для геологического захоронения РАО с выбором места для поселений человека (действий, по-видимому, наиболее соответствующих друг другу в историческом масштабе), а затем и с размещением объектов промышленности. Последняя задача решалась, по крайней мере, миллионы раз. В тысячах из них выбор был очень успешным, следствием чего становилось появление крупных городов, в том числе мегаполисов с развитой промышленностью, и их длительное существование. Выбор места был либо чьим-то единоличным решением, либо подведением черты под коллективным, но стихийным процессом расселения вблизи удобных ресурсов. При этом вполне естественно, что в процессе оптимизации выбора по очевидному, но обширному набору критериев в большинстве случаев возникала необходимость соглашаться с очевидными же недостатками, в том числе — размещением городов рядом с крупными промышленными комплексами. Со временем в отношении некоторых объектов промышленности, в том числе атомной энергетики, стала превалировать настороженность, следствием которой явилось удаление таких объектов от крупных населенных пунктов.

В случае выбора площадок для захоронения РАО критерии выбора в основе своей исходят из отрицания: площадка не должна быть заселена и находиться в зоне сейсмичности, недра не должны содержать полезные ископаемые и т. д. Общий принцип может быть представлен так: никому не нужный, но очень стабильный участок территории и недр, не обремененный при этом проблемами транспортной доступности. История активного поиска таких площадок в мире не насчитывает и пяти десятков лет, но за этот период выработались четкие требования к такому поиску. Несмотря на то что основное из них — широкая география поиска — всегда выполняется, часты случаи общенациональных дискуссий, потребовавших формулирования личных позиций руководителей стран и включавших несколько специфических обстоятельств. Среди них, например, то, что основной объем доводов по безопасности относился к будущему и не давал возможности инструментальной проверки практикой, а лидерами дискуссий становились политические или научные авторитеты, причем последние не всегда принадлежали к авторитетам в отраслях наук, непосредственно применяемых при выборе и обосновании места размещения. Следствием этого стали решения о фактической заморозке проекта (с возможностью дополнительных исследований и проработок в неопределенном будущем), как в США, или решения о возврате в стартовую точку поиска (Германия).

Во всех национальных историях [2, 3] тема выбора площадки имеет несколько базовых сценариев. Наиболее благоприятный и линейный вариант реализовался, например, в Финляндии. В результате предварительных исследований выбирается наиболее перспективная площадка, где сооружается сначала подземная исследовательская лаборатория (ПИЛ), а уже после проведения исследований в ней и подтверждения параметров участка недр на базе ПИЛ начинаются работы по сооружению пункта глубинного захоронения РАО (ПГЗРО). Были тем не менее и случаи отказа от предварительно выбранной площадки, причем как в результате ее доизучения (Швеция), так и по социально-политическим причинам (США). Существует и другой сценарий, в котором сооружается ПИЛ общего назначения, и одновременно идет процесс выбора подходящей площадки (например, Швейцария). Но во всех случаях выбор площадки сопровождался выходом детальных и публичных отчетов — обоснований выбора площадки. Отдельно следует упомянуть вариант развития событий, в котором в качестве критерия первичного отбора потенциальных площадок выступают не их геологические характеристики, а общественное согласие в соответствующих регионах (Великобритания, Германия). В этом случае предварительные отчеты по обоснованию безопасности оказываются еще более подробными, так как должны предусматривать описание концепций захоронения и соответствующих аргументов безопасности для каждого из потенциальных вариантов [4].

В российской истории выбор места размещения ПГЗРО имел признаки линейного варианта, в том числе широкую географию исследований, постепенное сосредоточение на более компактных районах, обширный состав работ и публикации по этапным итогам исследований [5, 6]. Некоторую особенность он приобрел в первом десятилетии XXI века. Для информирования об окончательном выборе перспективного участка головные исполнители работ обошлись двумя скромными публикациями [7, 8], в то время как в крупных монографиях [1, 9], вышедших примерно в тот же период, выбранный на сегодня для ПГЗРО участок Енисейский не определялся приоритетным. Фундаментальная работа специалистов ИГЕМ РАН [10] также полностью не устранила этот пробел. Уже длительное время это обстоятельство рассматривалось как требующее исправления. Но были и более востребованные задачи, как, например, определение заказчика сооружения, а затем и эксплуатирующей организации для ПИЛ и ПГЗРО, фиксирование общей стратегии реализации проекта, разработка детальной программы исследований и так далее. Сегодня эти задачи в основном решены (рис. 1).

Эти обстоятельства позволили обратиться к вопросу осмысления истории выбора площадки для глубинного захоронения в контексте всей совокупности данных по участку Енисейский, восстановления истории и особенностей проведения предшествующих работ (когда реальной была уже опасность утраты некоторых материалов и свидетельств) и демонстрации состояния реализующихся в настоящее время исследований. В монографии системно изложена соответствующая последовательность событий, дан детальный обзор геологической информации, которая в настоящее время регулярно пополняется, систематизируется и анализируется современными методами обработки данных. С 2019 г. динамика развития исследований регулярно отражается в виде публикаций, консолидирующихся в рецензируемом научно-техническом журнале «Радиоактивные отходы».

Исследования

Решения



Рис. 1. История проекта создания ПГЗРО

В тексте монографии в избытке присутствует обращение к фундаментальным работам и документам МАГАТЭ и АЯЭ ОЭСР, посвященным становлению и развитию методологии обоснования долговременной безопасности глубинного захоронения РАО. Отметим, однако, что за рамками узкого круга глубоко погруженных в данную методологию специалистов и общественности ряда прагматично настроенных стран победоносного шествия и полного принятия методологии не наблюдается. Более того, определенные сомнения в самой возможности получения достоверных результатов в рамках обоснования долговременной безопасности характерны даже для специалистов в области атомной энергетики. Работа [11] и ряд иных публикаций [12, 13] относятся именно к дискуссии о захоронении долгоживущих РАО, а вернее, к дискуссии о том, необходимы ли более глубокая переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и более экологичные реакторные технологии с выжиганием миноров и других долгоживущих радионуклидов. Общий подход, характерный и для нашей страны, — ориентация на геологическое захоронение наиболее опасных из уже накопленных отходов и минимизация образования новых путем разработки новых ядерных энерготехнологий и технологий ЯТЦ для энергетики будущего, которая в РФ через несколько десятилетий планируется двухкомпонентной [12, 14].

За прошедшие десятилетия поиска площадки для геологического захоронения РАО отношение к атомной энергетике заметно изменилось, пройдя путь от оптимистично-романтического к рационально- (а порой и иррационально-) скептическому [15]. Нынешний взгляд на решение проблем обращения с РАО можно охарактеризовать как прагматичный: он основан на накопленном мировым сообществом опыте, как позитивном, так и негативном.

На середину 2023 г. ситуация на площадке характеризуется необходимым динамизмом (практически завершены все подготовительные работы, стартовала проходка шахтных стволов для ПИЛ) (рис. 2) и развернутым научным сопровождением.

Завершая краткое введение, отметим, что решающее участие в организации и реализации первого этапа работ по ПГЗРО, вплоть до обоснования выбора участка Енисейский и его лицензирования, приняли специалисты следующих организаций: Минатом России, Федеральное агентство по атомной энергии и Госкорпорация «Росатом», Радиевый институт им. В. Г. Хлопина, ВНИПИпромтехнологии, ИГЕМ РАН, СПБО ИГЭ РАН, Геофизический центр РАН, ФГУП «НО РАО», АО «Красноярская горно-геологическая компания». Специалисты этих организаций, в разные годы участвовавшие в работах, и составили основу коллектива авторов. Важно, что многие из них до сих пор активно вовлечены в проводимые исследования и имеют все возможности довести их до логического завершения.

Авторы считают необходимым отметить специалистов, которые внесли вклад в геологические исследования российских территорий с целью выбора участков для захоронения РАО. Среди них особенно значительна роль доктора геолого-минералогических наук Е. Б. Андерсона и доктора технических наук А. С. Алая (Радиевый институт им. В. Г. Хлопина). В разное время в работах принимали участие специалисты АО «ВНИПИпромтехнологии»: кандидат технических наук Н. Ф. Лобанов, кандидат технических наук П. В. Лопатин, В. И. Сыцько, В. П. Парфенов. Практические работы на площадке организовывали руководители ФГУП «ГХК» доктор технических наук П. М. Гаврилов и кандидат технических наук Д. Н. Колупаев.



Рис. 2. Площадка строительства подземной исследовательской лаборатории на участке Енисейский

Литература

1. Камнев Е. Н. Выбор площадок для захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях / Е. Н. Камнев, В. Н. Морозов, И. Ю. Шишиц. — М.: Горная книга, 2011. — 207 с.
2. Цебаковская Н. С. Зарубежные проекты захоронения ОЯТ и РАО. Часть I. Актуальное состояние проектов создания пунктов глубинного геологического захоронения в европейских странах: Препринт ИБРАЭ: № IBRAE-2017-03 / Н. С. Цебаковская, И. И. Линге, С. С. Уткин, И. А. Пронь. — М.: ИБРАЭ РАН, 2017. — 35 с.
3. Цебаковская Н. С. Зарубежные проекты захоронения ОЯТ и РАО. Часть II. актуальное состояние проектов создания пунктов глубинного геологического захоронения в США, Канаде и странах Азиатского региона: Препринт ИБРАЭ: № IBRAE-2017-04 / Н. С. Цебаковская, С. С. Уткин, В. Ю. Коновалов. — М.: ИБРАЭ РАН, 2017. — 41 с.
4. Bailey L. Development of a generic safety narrative for a UK geological disposal facility / L. Bailey // Mineralogical magazine. — 2015. — Vol. 79. — № 6. — P. 1633–1640. — DOI: 10.1180/minmag.2015.079.6.39
5. Результаты комплексных геологических исследований Нижнеканского массива для обоснования возможности его использования для захоронения отвержденных радиоактивных отходов / Е. Б. Андерсон, В. М. Даценко, В. И. Кирко и др. // Исследования гранитоидов Нижнеканского массива для захоронения РАО: материалы КНТС: Координационный научно-технический совет по научному сопровождению проектирования и строительства завода РТ-2 на ГХК (Железногорск, 16–20 марта 1998) / под ред. Е. Ф. Любцевой. — СПб: Горно-химический комбинат, НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина», 1999. — С. 14–23.
6. Результаты поисковых и научно-исследовательских работ по выбору площадок для подземной изоляции ВАО и ОЯТ на Нижнеканском массиве гранитоидов (Южно-Енисейский кряж) / Е. Б. Андерсон, В. Г. Савоненков, Е. Ф. Любцева и др. // Труды Радиевого института им. В. Г. Хлопина. — 2006. — Т. XI. — С. 8–64.
7. Федеральный объект подземного захоронения отвержденных радиоактивных отходов в России: практические шаги к созданию / Е. Г. Кудрявцев, И. В. Гусakov-Станюкович, Е. Н. Камнев и др. // Безопасность окружающей среды. — 2008. — № 4. — С. 106–112.
8. Construction of a deep geological disposal facility for final isolation of high-level waste in the Nizhnekansky rock massif (Krasnoyarsk region) / E. G. Kudryavtsev, I. V. Gusakov-Stanyukovich, E. N. Kamnev et al. // IAEA CEG Workshop on Disposal of Radioactive Waste (RW) and Spent Nuclear Fuel (SNF) — Experience and Plans (24–26 February 2009). — Bommersvik, Sweden, 2009.
9. Подземная изоляция радиоактивных отходов: Атомная энергетика / Е. Б. Андерсон, С. В. Белов, Е. Н. Камнев и др.; под ред. В. Н. Морозова. — М.: Горная книга, 2011. — 592 с.
10. Кочкин Б. Т. Научные основы оценки безопасности геологической изоляции долгоживущих радиоактивных отходов (Енисейский проект) / Б. Т. Кочкин, В. И. Мальковский, С. В. Юдинцев. — М.: ИГЕМ РАН, 2017. — 384 с.
11. Обоснование долговременной безопасности захоронения ОЯТ и РАО на 10 000 и более лет: методология и современное состояние: Препринт ИБРАЭ: № IBRAE-2019-03 / И. Л. Абалкина, Л. А. Большов, И. В. Капырин и др. — Москва, ИБРАЭ РАН, 2019. — 40 с.
12. Большов Л. А. Стратегия развития ядерной энергетики России и вопросы экологии / Л. А. Большов, И. И. Линге // Атомная энергия. — 2019. — Т. 127. — № 6. — С. 303–309.
13. Большов Л. А. О согласовании этапов развития атомного энергопромышленного комплекса и системы обращения с РАО / Л. А. Большов, И. И. Линге // Радиоактивные отходы. — 2019. — № 3 (8). — С. 14–27. — DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-14-27
14. Проект «ПРОРЫВ» — технологический фундамент для крупномасштабной ядерной энергетики / Е. О. Адамов, Р. М. Алексахин, Л. А. Большов и др. // Известия российской академии наук. Энергетика. — 2015. — № 1. — С. 5–13.
15. Линге И. И. Радиационные и экологические аспекты атомной энергетики будущего / И. И. Линге, С. С. Уткин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2021. — Т. 66. — № 5. — DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-5-113-121