

## Создание объекта окончательной изоляции ВАО в глубоких геологических формациях (Нижнеканский массив, Красноярский край)

Семинар «Окончательное захоронение РАО и ОЯТ – опыт и планы»  
Швеция, г. Боммерсвик, 22-24 февраля 2009 г.

Е.Г.Кудрявцев, И.В.Гусаков-Станюкович (Госкорпорация «Росатом»),  
Е.Н.Камнев, Н.Ф.Лобанов, В.П.Бейгул (ВНИИПромтехнологии, Москва)

Принятая в Российской Федерации программа развития атомной отрасли, предусматривающая увеличение доли генерации электрической энергии на атомных электрических станциях до 25 процентов в энергопотреблении страны, требует инфраструктурного обеспечения объектами обращения с ОЯТ и РАО.

Важнейшими объектами инфраструктуры единой государственной системы обращения с ОЯТ станут завод по переработке ОЯТ легководных реакторов на Горно-химическом комбинате (Красноярский край) и создаваемый в комплексе с ним объект окончательной изоляции (захоронения) радиоактивных отходов в глубоких геологических формациях (Нижнеканский массив, Красноярский край).

Кроме того, рассматриваемый объект будет также использован для экологически безопасного и экономически приемлемого удаления значительных объемов следующих видов РАО, содержащих долгоживущие радионуклиды: накопленных в Российской Федерации за период реализации оборонных программ РАО радиохимических производств, а также РАО, образующихся при эксплуатации и выводе из эксплуатации энергетических и транспортных реакторов, которые не могут быть экологически безопасно размещены в приповерхностных объектах окончательной изоляции.

### Захораниваемые радиоактивные отходы

Наиболее эффективным способом безопасной окончательной изоляции долгоживущих РАО является их захоронение в глубоких геологических формациях. В РФ в течение 45 лет было удалено в глубокие изолированные горизонты-коллекторы около 50 млн. м<sup>3</sup> жидких РАО комбинатов ГХК и СХК.

В то же время большие объемы жидких и твердых РАО радиохимических производств, накопленных на комбинатах ГХК, СХК и ПО «Маяк» и подлежащих кондиционированию, находятся во временных хранилищах. Значительную их часть составляют отходы, которые содержат долгоживущие радионуклиды и будут представлять экологическую опасность в течение тысяч лет. Более 80% объемов этих РАО содержат трансурановые элементы, в т.ч. уран, америций, плутоний, нептуний.

После извлечения из временных хранилищ накопленные жидкие и твердые РАО должны быть кондиционированы и упакованы в контейнеры для отправки в Железногорск, где предполагается их захоронение в глубоких геологических формациях.

По предварительным оценкам, общий объем кондиционированных долгоживущих РАО, которые могут быть окончательно изолированы на участке «Енисейском» Нижнеканского массива, составляет не менее 500 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе ранее накопленных отходов – 450 тыс. м<sup>3</sup> (см. таблицу 1).

**Таблица 1. Возможные объемы окончательной изоляции долгоживущих РАО на участке «Енисейский»**

Виды захораниваемых РАО	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Характеристики РАО	Основные радионуклиды
Кондиционированные долгоживущие ВАО и САО, накопленные на ГХК, ПО «Маяк», СХК	до 450	Тепловыделение незначительное; удельная активность – до $2 \cdot 10^9$ Бк/кг	U, Pu, Am, Np, Cs, Sr

Кондиционированные фракции долгоживущих ВАО и САО от будущей переработки ОЯТ на ГХК	до 50	Будут определены при работах в Опытном демонстрационном центре в ГХК	U, Pu, Am, Np, Cs, Sr
Кондиционированные «горячие» фракции ВАО от будущей переработки ОЯТ на ГХК*	до 1	Высокая активность и тепловыделение	Cs, Sr
Отдельные виды твердых ВАО с содержанием ядерных материалов (потенциально возможно)*	до 100	Высокая активность и тепловыделение	Аналогично ОЯТ

\*Отходы будут направляться на захоронение после длительного хранения с охлаждением.

### **Предварительные обоснования выбора участка и площадки для строительства объекта**

Исследования в районе Нижнеканского массива с целью выбора перспективной площадки для создания объекта окончательной подземной изоляции РАО проводятся с начала 90-х годов при участии специалистов предприятий «Росатома», Российской академии наук, геологических организаций Красноярского края. На основании выполненных работ была разработана и в 2002 году утверждена «Декларация о намерениях» строительства подземной исследовательской лаборатории, в которой в качестве перспективных определены два участка – «Верхнеитатский» (в состав которого входят участки «Итатский» и «Каменный») и «Енисейский» (рисунк 1).

Учитывая принятые в Российской Федерации решения о развитии атомной отрасли, в Федеральной целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» было предусмотрено выполнение работ по обоснованию мероприятия под названием «Строительство первоочередных объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижнеканский массив)».

В 2008 году разработана актуализированная «Декларация о намерениях» строительства первоочередных объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов, в том числе подземной лаборатории. В таблице 2 показаны отличия разработанной «Декларации о намерениях» (ДОН) от ранее утвержденной.

В 2002-2005 годах (проект МНТЦ №2377) были выполнены комплексные геофизические исследования на поверхности участка «Енисейского» (вначале на площади 70 км<sup>2</sup>, затем более детальные на площади 25 км<sup>2</sup>), а также геологоразведочные работы с бурением (и полным отбором керна) трех скважин по 100 м и одной глубиной 600 м. Проведены лабораторные исследования характеристик горных пород и подземных вод. В таблице 3 приведены характеристики пород и подземных вод до глубины 600 м в окрестностях глубокой скважины 1-Е.

На основании результатов всех исследований, проведенных в 1993-2005 годах, в пределах исследованной площади на участке «Енисейском» выделена перспективная площадка 37, на которой в дальнейшем будут выполнены детальные инженерно-геологические изыскания с целью подтверждения ее пригодности для создания объекта окончательной изоляции кондиционированных САО и ВАО, содержащих долгоживущие радионуклиды. Эта площадка расположена на расстоянии около 4 км от ГХК и 4.5 км от Енисея, в пределах Закрытого административно-территориального образования (ЗАТО) Железногорска (рисунк 1).

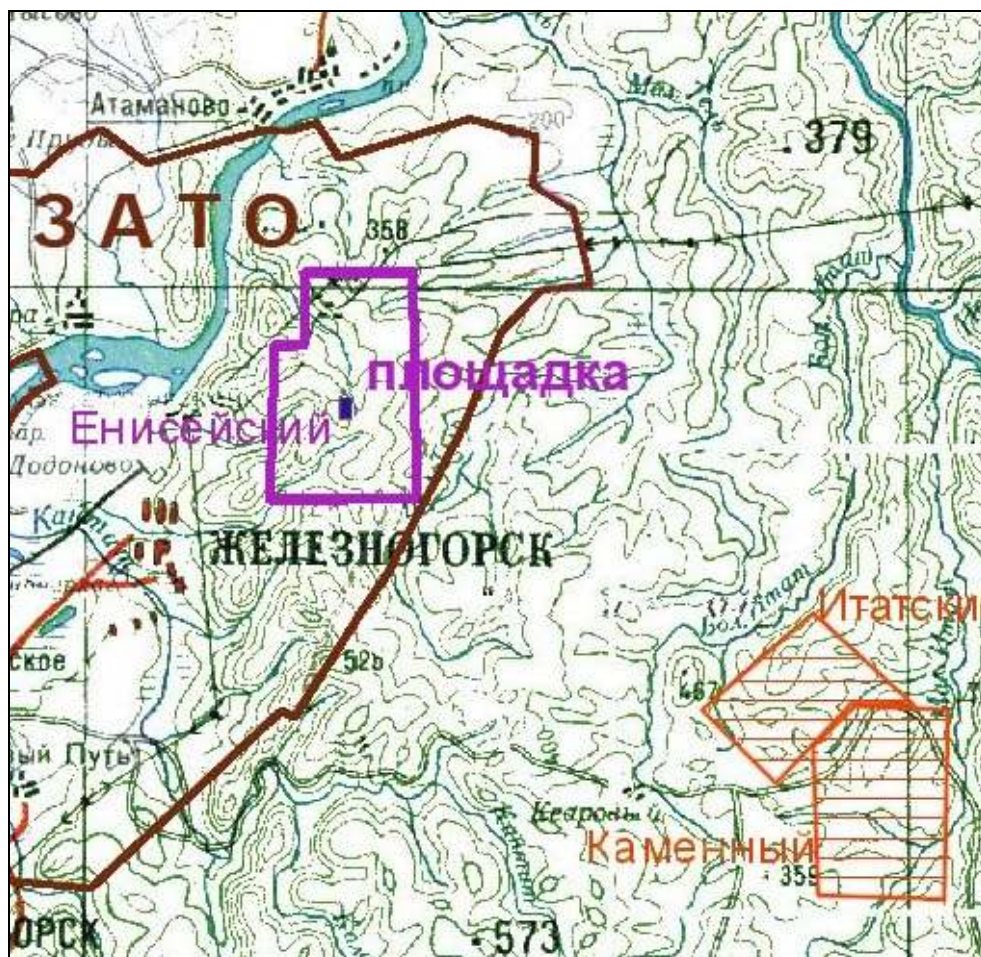


Рисунок 1. Схема расположения участка и площадки 37 для объекта захоронения РАО

Таблица 2. Отличия разработанной «Декларации о намерениях» от ранее утвержденной

Показатели	«Декларация о намерениях» (2002 год)	«Декларация о намерениях» (2008 год)
Цели создания объекта	Захоронение отвержденных фракций завода РТ-2	Окончательная изоляция: – накопленных долгоживущих ВАО и САО; – отвержденных фракций от будущей переработки ОЯТ на ГХК
Цели «Декларации о намерениях»	«ДОН» на подземную лабораторию	«ДОН» на объект захоронения РАО, в том числе подземную лабораторию
Исследования и участки, где они проводились	В подземных сооружениях ГХК (с 1965 года). В районе и на участке «Верхнеитатском» (1993-2000 годы)	Комплексные исследования на участке «Енисейский» для уточнения его характеристик (2002-2005 годы). Сравнение перспективных участков
Перспективность участков	«Верхнеитатский» – основной, «Енисейский» – альтернативный	«Енисейский» (в пределах ЗАТО) – основной
Технология переработки ОЯТ	PUREX (недостаток – образование большого объема РАО)	Разрабатываемая инновационная технология для переработки ОЯТ на ГХК

**Таблица 3. Характеристики скального массива на участке «Енисейском» (по скважине 1-Е)**

Интервал залегания (мощность) слоя, м	Краткое описание пород Коэффициент крепости (f)	Коэффициент фильтрации (Кф), м/сут.; рН, Eh воды
0-6 (6)	Почвенно-растительный слой, породы раздробленные	-
6-60 (54)	Зона трещинной коры выветривания, породы сильно трещиноватые, f = 3.	-
60-303 (243)	Массивные плагиогнейсы, до глубины 276 м трещиноватые и сильно трещиноватые, ниже – слабо трещиноватые, f = 6.	К <sub>ф</sub> = 0,001-0,005
303-342 (39)	Массивные темно-серые метабазиты, слабо трещиноватые, f = 7-9	К <sub>ф</sub> = 0,004; рН = 8,4; Eh = (-60 mV)
342-495 (153)	Массивные плагиогнейсы и биотит-полевошпатовые гнейсы. Очень крепкие, слабо трещиноватые, f = 9-12	К <sub>ф</sub> = 0,002-0,0009; рН = 8,6; Eh = (-80) mV
495-600 (105)	Массивные темно-серые метабазиты с микрозернистой структурой. Очень крепкие, слабо трещиноватые, f = 7-12	К <sub>ф</sub> = 0,001-0,0005; рН = 8,7; Eh = (-100) mV

Ниже представлены предварительные результаты, полученные на основе выполненных исследований.

Тектонические характеристики выбранного участка следующие. Площадка расположена в блоке относительно однородных горных пород размером 4×5 км, имеющем трехстороннее ограничение предварительно выделяемыми разломами третьего порядка. Выделяемые разломы затухают с глубиной. Они характеризуются слабоконтрастными аномалиями, что свидетельствует об их залеченности дайковыми телами и отсутствии тектонической активности на современном этапе.

В недрах участка «Енисейский» не обнаружено восходящих источников с хлоридным типом вод и других признаков разгрузки из глубоких горизонтов. На территории участка доминирует нисходящая фильтрация подземных вод. Результаты выполненной гелиевой съемки подтвердили вывод о том, что в пределах данного участка отсутствует восходящая фильтрация флюидов из глубоких горизонтов.

Возраст пород на горизонте размещения подземных сооружений объекта составляет более 1800 млн. лет, возраст подземных вод на глубинах более 200 м – около 7 тыс. лет и более.

Массив скальных пород в районе участка «Енисейского» характеризуется стабильным тектоническим режимом, что подтверждается полевыми наблюдениями яркости рельефа, анализом топографических карт, данными геодезических замеров скоростей современных вертикальных движений земной поверхности. Средняя скорость поднятий исследуемого района за последние 5 млн. лет не превышает 0,08-0,09 мм/год (до 9 м за 100 тыс. лет), на площадках внутри района – еще меньше.

Результаты наблюдений и расчетов свидетельствуют о чрезвычайно низких скоростях новейших и современных тектонических движений массива. Это соответствует платформенному типу развития территории и отражает ее слабую тектоническую активность.

На основании выполненных исследований, основанием блока, в пределах которого располагается рекомендуемая площадка, является интрузивный массив основного состава, выделяе-

мый по геофизическим данным на глубине 1500 м и по своим размерам значительно превосходящий необходимую площадь размещения объекта. По предварительной оценке, площадь подстилающего интрузивного массива составляет около 60 км<sup>2</sup>, в то время как размеры рекомендуемой площадки для размещения объекта менее 1 км<sup>2</sup>.

Сооружения запланированного объекта при возможных тектонических подвижках не будут испытывать значительных динамических нагрузок, так как разгрузка возникающих тектонических напряжений происходит по границам устойчивых сред, в данном случае – по разрывным нарушениям, обрамляющим указанный интрузивный массив скальных пород.

Для предварительного обоснования выбора участка и площадки размещения объекта окончательной изоляции РАО использованы критерии, установленные в нормативном документе НП-055-04 «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности». В таблице 4 указано соответствие характеристик рекомендуемой площадки критериям этого документа.

**Таблица 4. Критерии выбора площадки для строительства объекта на участке «Енисейском»**

<b>Основные критерии</b>
Площадка не находится в районе с активными движениями земной коры, высокой сейсмической активностью, интенсивными тектоническими движениями
Размеры площадки достаточны для размещения всех сооружений
Вмещающие породы представлены кристаллическими магматическими или метаморфическими породами, имеют благоприятные физико-механические свойства, однородную структуру и низкую трещиноватость
Подземные воды имеют восстановительный характер, слабощелочную реакцию и низкую минерализацию
Активные разломы в пределах площадки отсутствуют
Отсутствуют каналы связи объекта с дневной поверхностью, водоносными горизонтами
<b>Дополнительные критерии</b>
Ожидаются оптимальные технико-экономические показатели при обеспечении нормативной безопасности захоронения РАО
Желательно разместить технологический ствол и маршруты перевозки контейнеров с РАО по поверхности в пределах ЗАТО Железногорска

По предварительным оценкам, скальный массив на выбранном участке имеет благоприятные свойства для обеспечения безопасной изоляции РАО, содержащих долгоживущие радионуклиды. Эти свойства следующие:

- слабая тектоническая активность района, на глубине создания объекта породы прочные, слаботрещиноватые;
- подземные воды пресные, слабощелочные, с восстановительными свойствами, коэффициенты фильтрации – до миллиметра в сутки, характер инфильтрации подземных вод – нисходящий.

В таблице 5 представлена сводная сравнительная оценка перспективности альтернативных участков «Енисейского» и «Верхнеитатского» с учетом результатов выполненных исследований.

**Таблица 5. Сравнительная оценка перспективности альтернативных участков для создания объекта окончательной изоляции РАО**

«Енисейский» (1)	«Верхнеитатский» (2)	Оценка
<b>Оба участка в целом пригодны</b>		
На обоих участках степень изученности достаточна для разработки ДОН		
По размерам перспективной площадки оба участка пригодны		
По гидрогеологическим характеристикам массива пород оба участка пригодны: ниже глубины 400 м коэффициенты фильтрации – до миллиметра в сутки		
<b>Характеристики пород</b>		
Ниже глубины 300 м крепкие, слаботрещиноватые породы, подземные воды с восстановительными свойствами	В интервале 100-700 м породы крепкие, слаботрещиноватые (кроме интервала 380-480 м), кислые (гранитоиды)	Оба участка пригодны
<b>Расстояние от ГХК</b>		Расположение участка 1 предпочтительно
Около 4 км	Около 24 км	
<b>Наличие инфраструктуры</b>		
Площадка расположена в пределах ЗАТО Железногорска; возможно частичное использование существующей инфраструктуры	Необходимо полное освоение и планировка участка, подведение и дальнейшая эксплуатация всех инженерных и транспортных коммуникаций	По необходимым затратам расположение участка 1 значительно предпочтительнее
<b>Участок «Енисейский» предпочтителен</b>		

### **Концепция обеспечения безопасности - многобарьерная система**

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ, нормативными документами РФ и опытом комплексных исследований в международных подземных лабораториях, окончательная безопасная изоляция отходов должна быть обеспечена с использованием многобарьерной системы. При создании подземного объекта в скальном массиве на участке «Енисейском» безопасная окончательная изоляция РАО после консервации камер с отходами будет осуществляться следующим образом.

На первой стадии изолирующие функции будут выполнять инженерные барьеры, которые предотвращают контакт подземных вод с РАО.

В результате длительной коррозии инженерных барьеров будет формироваться геохимический барьер, обеспечивающий локализацию радионуклидов, выщелачиваемых из кондиционированных РАО, вследствие низкой растворимости радионуклидов в восстановительной обстановке и высоких сорбционных свойств продуктов коррозии железа.

Благоприятные условия в массиве вмещающих пород гарантируют безопасную локализацию РАО в ближней зоне объекта даже с учетом потенциально возможных аварийных ситуаций.

Характеристика изолирующих свойств компонентов многобарьерной системы при создании объекта подземного захоронения РАО на участке «Енисейском» приведена в таблице 6.

**Таблица 6. Изолирующие свойства компонентов многобарьерной системы**

<b>Компоненты многобарьерной системы</b>	<b>Изолирующие свойства барьеров</b>
Инженерные барьеры (матрица с РАО, контейнер, цементно-бentonитовая закладка)	предотвращение контакта подземных вод с РАО в течение периода до 1000 лет (в условиях затрудненного водообмена и неагрессивных вод)
Геохимический барьер	<ul style="list-style-type: none"> <li>- восстановительная обстановка и диффузионные условия в системе инженерных барьеров;</li> <li>- высокие сорбционные свойства образующихся продуктов коррозии инженерных барьеров</li> </ul>
Вмещающий слабопроницаемый скальный массив (глубина горизонта захоронения РАО – 500 м)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- слабая тектоническая активность района;</li> <li>- на глубине создания объекта породы прочные, слаботрещиноватые;</li> <li>- подземные воды пресные, слабощелочные, с восстановительными свойствами;</li> <li>- коэффициенты фильтрации - до миллиметра в сутки;</li> <li>- характер инфильтрации подземных вод – нисходящий</li> </ul>

На основании математического моделирования, при расположении упаковок с отвержденными РАО в слабопроницаемом скальном массиве на глубинах около 500 метров надежно обеспечивается безопасность окончательной изоляции содержащихся в РАО долгоживущих радионуклидов (U, Pu, Am, Np), а также менее экологически опасных радиоизотопов.

Радиусы фронтов допустимых концентраций указанных радионуклидов (минимально значимых удельных активностей, МЗУА) в подземных водах в зонах трещиноватости не превысят 100 метров даже при условии деградации компонентов системы инженерных барьеров. За пределами этих расстояний потенциально загрязненные подземные воды не будут относиться к радиоактивным отходам.

С учетом изолирующих свойств системы инженерных барьеров, низкой трещиноватости вмещающего массива пород, восстановительных свойств подземных вод, нисходящего характера инфильтрации подземных вод на участке «Енисейский», радионуклиды заведомо не выйдут в сферу жизнедеятельности с глубины 500 м.

#### **Дальнейшие инженерно-геологические изыскания на участке и исследования в подземной лаборатории**

Для уточнения структурно-тектонических и гидрогеологических характеристик скального массива, физико-механических свойств пород в районе площадки планируется выполнить комплексные инженерно-геологические изыскания с бурением разведочных скважин глубиной 600-700 м, с полным отбором керна и выполнением комплекса геофизических, гидрогеологических и геохимических исследований. В результате выполненных изысканий будет получена информация о вмещающем массиве, достаточная для проектирования объекта подземного захоронения РАО.

В дальнейшем, на этапе строительства подземной лаборатории, будут построены два ствола и продолжены комплексные инженерно-геологические изыскания, а именно: на горизонте 500 м будут пройдены 1600 пог. м горизонтальных выработок и из них пробурены шесть горизонтальных разведочных скважин по 250 м (рисунок 3). Будут выполнены геофизические исследования в скважинах, гидрогеологические изыскания, комплексное изучение тектонического строения, напряженно-деформированного состояния скального массива, физико-механических, теплофизических, фильтрационных, сорбционных свойств пород (таблица 7).

**Таблица 7. Дальнейшие инженерно-геологические изыскания, необходимые для проектирования объекта**

1. Комплексные инженерные изыскания на поверхности	
2. Изучение массива пород в интервале глубин 0-700 м и на горизонте 500 м	
Разведочные скважины, горные выработки	Виды исследований
– Пять-семь скважин глубиной по 600-700 м с полным отбором керна – 1600 пог. м горных выработок на горизонте 500 м – Шесть горизонтальных скважин по 250 м на горизонте 500 м	– Геофизические исследования в скважинах – Гидрогеологические поинтервальные исследования – Комплексное изучение тектонического строения, напряженно-деформированного состояния скального массива, физико-механических, теплофизических, фильтрационных, сорбционных свойств пород

Краткое описание направлений основных исследований в подземной лаборатории приведено в таблице 8.

Отдельные виды работ, параллельно со строительством объекта, могут быть выполнены в филиале подземной лаборатории – специально выделенных отсеках в свободных подземных сооружениях ГХК. В дальнейшем эти отсеки могут быть использованы для окончательной изоляции некоторых видов отходов ГХК.

**Таблица 8. Направления исследований в подземной лаборатории**

Подземные выработки и разведочные скважины на горизонте 500 м	Исследования в скважинах и подземных выработках в ходе инженерно-геологических изысканий
	Отработка технологии строительства объекта, выполнения погрузочно-доставочных работ и консервации камер с отходами
Подземные сооружения ГХК (филиал подземной лаборатории)	Отработка технологии создания системы инженерных барьеров, выполнения погрузочно-доставочных работ и консервации камер с отходами
	Разработка и экспериментальное исследование системы горно-экологического мониторинга для объекта подземного захоронения РАО
	Демонстрация технологии подземного захоронения РАО и системы горно-экологического мониторинга

Большой объем необходимых исследований, для которых традиционно создаются специальные подземные сооружения, будет выполнен в ходе проведения инженерно-геологических изысканий на глубине расположения будущего объекта (см. таблицы 7 и 8).

Кроме того, будут использованы результаты многолетних исследований в подземных сооружениях ГХК, в том числе:

- натурные исследования структуры массива пород и устойчивости подземных сооружений;
- исследования распространения температурных полей в приконтурных зонах подземных сооружений;
- натурные геомиграционные исследования в инженерных барьерах и зонах трещиноватости;
- лабораторные исследования процессов выщелачивания, сорбции и миграции радионуклидов.

В подземных сооружениях ГХК в течение более 40 лет выполнялись исследования в условиях природных и техногенных воздействий, в том числе от тепловых источников больших размеров - теплообменников подземных ядерных реакторов. Обобщение и анализ результатов многолетних исследований выполнены в рамках проекта МНТЦ №307В.

В результате выполнения проекта МНТЦ №2764 создана информационная технология оценки состояния и пригодности геологической среды для выбора геоэкологически безопасных мест захоронения высокоактивных РАО. Разработаны новые алгоритмы для анализа геолого-геофизических и геоморфологических данных с целью выделения глубинных структурных неоднородностей и активных геодинамических зон в гетерогенно-блочной среде. Выполнены предварительные работы по внедрению систем GPS и ГЛОНАСС для наблюдений за современными движениями земной коры на Нижнеканском массиве.

В дальнейшем, в рамках подготавливаемого проекта МНТЦ №3914 планируется проведение работ по моделированию и прогнозу эволюции напряженно-деформированного состояния породных массивов на длительные периоды времени на основе наблюдений за деформациями породных блоков методами космической геодезии и реконструкции полей напряжений. Будет использована создаваемая геодинамическая сеть на Нижнеканском массиве, в том числе на участке «Енисейском»

### **Основные технические решения и технико-экономические показатели объекта**

Разработан технический облик объекта окончательной подземной изоляции долгоживущих РАО с незначительным удельным тепловыделением (таблица 9) и технические решения по его строительству и эксплуатации (таблица 10).

**Таблица 9. Состав объекта подземного захоронения РАО**

Вертикальные стволы глубиной 500 м: разведочно-эксплуатационный, технологический, вентиляционный, вспомогательный (для 2-й очереди)
Камеры захоронения РАО длиной по 250 м на горизонте 500 м
Транспортные и вентиляционные выработки, горизонтальные горные выработки и камеры вспомогательного назначения
Околоствольные двory и камерные выработки для приготовления и спуска закладочной смеси
Надземный комплекс зданий и сооружений

**Таблица 10. Схема обращения с РАО вплоть до окончательного захоронения**

<b>Предварительные технологические операции (на площадках комбинатов ГХК, ПО «Маяк», СХК)</b>
Извлечение РАО из временных хранилищ
Кондиционирование и упаковка в невозвратные контейнеры для захоронения
Загрузка невозвратных контейнеров в многоразовые транспортные для доставки ж/д транспортом в Железногорск
Доставка транспортных контейнеров с РАО на накопительную площадку ж/д станции ГХК; разгрузка контейнеров с РАО.
<b>Технологические операции на объекте подземного захоронения РАО</b>
Доставка невозвратных контейнеров до надшахтного здания технологического ствола
Загрузка платформы с контейнерами в шахтную клеть
Спуск шахтной клетки на горизонт 500 м
Доставка платформы с контейнерами в камеру захоронения
Укладка контейнеров с РАО в камеру захоронения в четыре яруса по высоте
Поэтапная консервация камер захоронения

В таблице 10 приведена схема обращения с накопленными РАО. На схеме выделены предварительные технологические операции по подготовке РАО и их доставке на накопительную

площадку железнодорожной станции ГХК, которые выполняются вне объекта, и собственно технологические операции на объекте подземного захоронения отходов.

По предварительным оценкам, для захоронения отходов могут быть использованы контейнеры типа НЗК-150-1,5 вместимостью 1,5 м<sup>3</sup> РАО или аналогичные по размерам с усиленной биологической защитой.

На глубине 500 м от поверхности, на площади около 1 км<sup>2</sup> будет создан комплекс горных выработок, включающий в себя камеры для размещения контейнеров с отходами, горизонтальные и вертикальные выработки для вентиляции, транспортировки грузов и оборудования, а также камеры вспомогательного назначения.

Пустоты в камерах захоронения РАО после установки контейнеров предусматривается поэтапно заполнять твердеющей закладкой на основе цементно-бentonитовой смеси. Ее подача в камеры будет выполняться с горизонта 470 м.

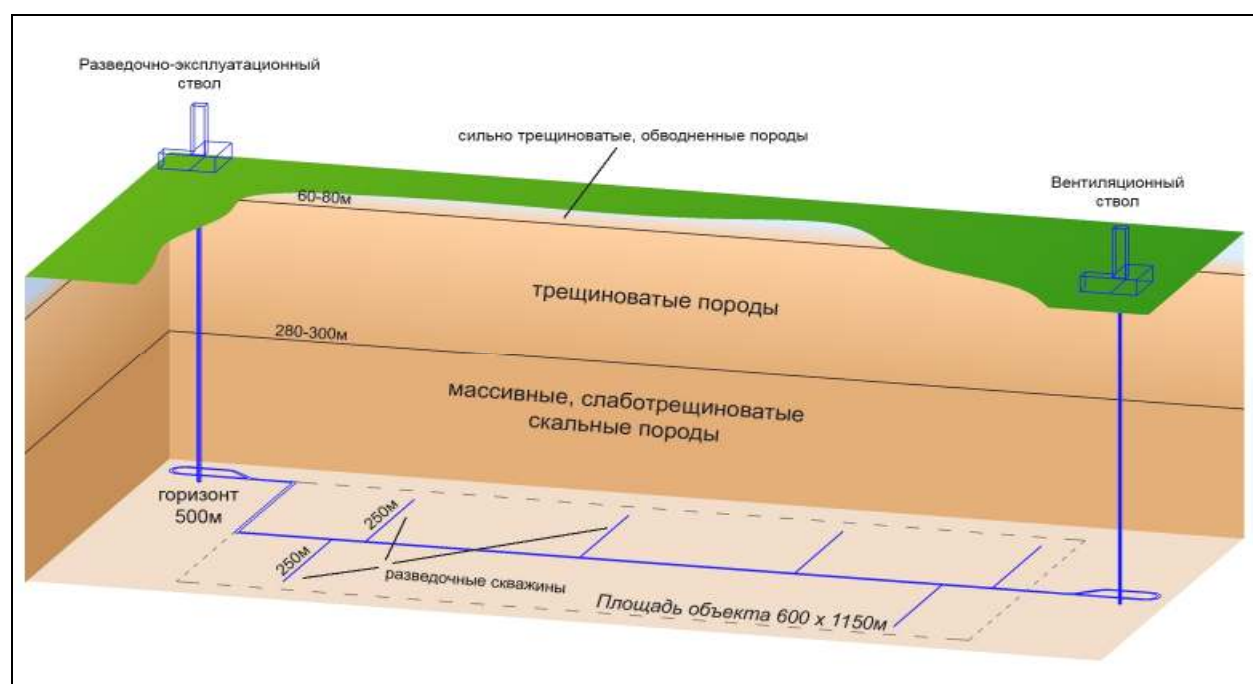
Площадка для размещения объекта имеет размеры 600\*1430 м. С учетом результатов дальнейших инженерно-геологических изысканий соотношение геометрических размеров площадки может быть скорректировано без изменения общей площади.

Строительство и эксплуатацию объекта планируется выполнить в две очереди, объемом по 250 тыс. м<sup>3</sup> РАО. В рамках первой очереди предусматриваются создание подземной лаборатории, затем пускового комплекса, рассчитанного на захоронение 10 тыс. м<sup>3</sup> РАО, и далее – строительство и эксплуатация подземных сооружений первой очереди (для захоронения по 5 тыс. м<sup>3</sup> РАО в год), в том числе консервация камер с отходами.

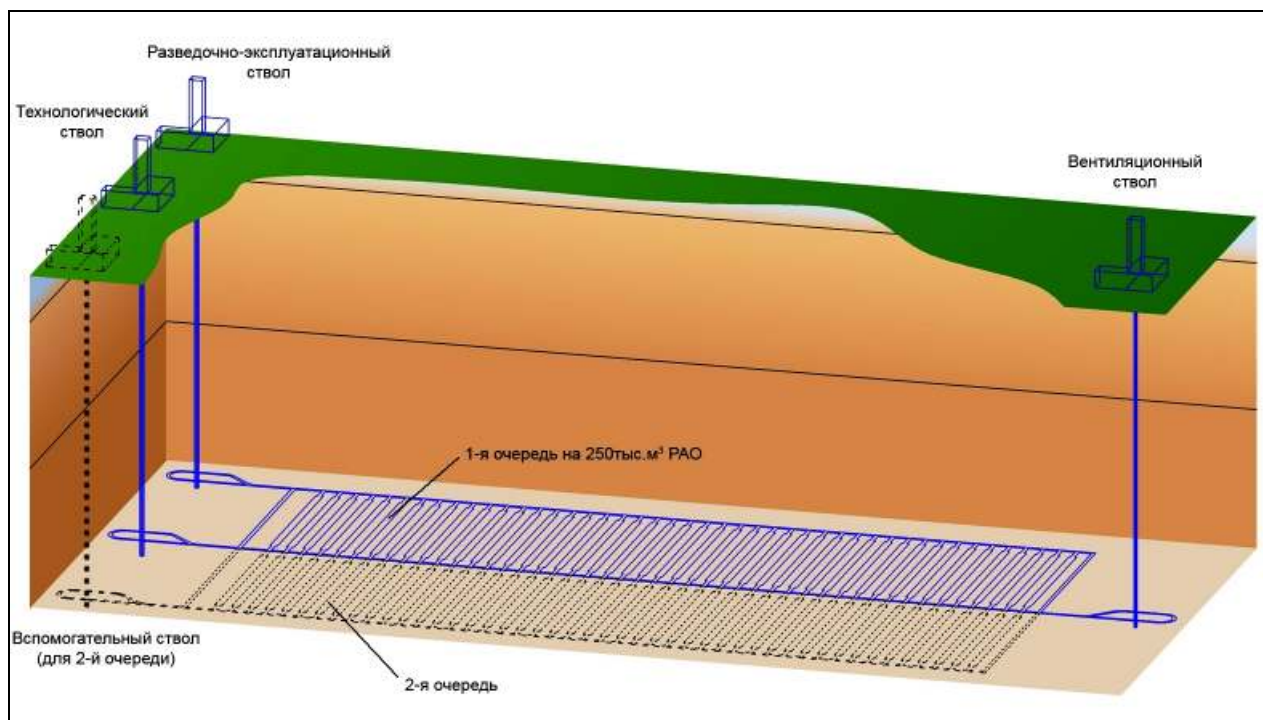
На рисунках 2 и 3 показаны схемы подземных сооружений подземной лаборатории и объекта подземного захоронения РАО. Пунктиром обозначены подземные сооружения второй очереди.

По предварительной оценке, продолжительность строительства подземной лаборатории составит пять лет, пускового комплекса на 10 тыс. м<sup>3</sup> РАО – девять лет (включая строительство подземной лаборатории).

Необходимый объем инвестиций на сооружение и ввод в эксплуатацию пускового комплекса на 10 тыс. м<sup>3</sup> РАО составит, по предварительным оценкам, 20,8 млрд. рублей (в ценах первого квартала 2008 года), в том числе на сооружение подземной лаборатории – 5,6 млрд. рублей.



**Рис. 2. Подземные сооружения и скважины подземной лаборатории**



**Рис. 3. Подземные сооружения первой и второй очереди строительства объекта захоронения РАО**

В дальнейшем все работы первой очереди будут выполняться за счет эксплуатационных расходов - оплаты за прием на захоронение поступающих контейнеров с РАО. Ожидаемые удельные годовые эксплуатационные расходы на захоронение  $1 \text{ м}^3$  РАО (по технологическим операциям на объекте захоронения РАО, см. таблицу 10), при годовом объеме 5 тыс.  $\text{м}^3$  РАО, составят 0,5 млн. руб. (в ценах первого квартала 2008 г.).

В связи с тем, что на окончательную изоляцию в глубоких геологических формациях будут направляться долгоживущие РАО с небольшим удельным тепловыделением и активностью, создается возможность упростить требования к элементам многобарьерной системы, повысить эффективность полезного использования дорогостоящего подземного пространства на больших глубинах, упростить выполнение технологических операций по доставке контейнеров с РАО на захоронение.

Безопасная окончательная изоляция долгоживущих отвержденных РАО в глубоких геологических формациях в слабопроницаемом массиве скальных пород позволит:

- освободить будущие поколения от бремени обращения с указанными долгоживущими отходами, сохраняющими экологическую опасность в течение тысяч лет;
- обеспечить необходимые условия для окончательной изоляции отвержденных фракций РАО от будущей переработки ОЯТ на ГХК на основе инновационной технологии;
- значительно улучшить экологическую обстановку на промплощадках комбинатов ГХК, СХК, ПО «Маяк»;
- исключить многовековые эксплуатационные затраты на хранение накопленных долгоживущих РАО на площадках указанных комбинатов, на ремонт и модернизацию хранилищ для обеспечения нормативных требований по безопасности.

### **Заключение**

Таким образом, в слабопроницаемом массиве скальных пород на участке «Енисейском», в районе города Железногорска Красноярского края, предполагается создать федеральный объект окончательной подземной изоляции кондиционированных ВАО и САО, содержащих дол-

гоживущие радионуклиды, в том числе трансурановые элементы. Общий объем захораниваемых РАО – не менее 500 тыс. м<sup>3</sup>.

Для создания объекта и проведения дополнительных изысканий предварительно выбрана площадка на расстоянии около 4 км от ГХК и 4,5 км от Енисея. Глубина горизонта захоронения РАО – около 500 м, необходимые размеры площадки для объекта – около 1 км<sup>2</sup>.

В 2002-2005 годах на участке «Енисейском» были проведены комплексные геофизические исследования на поверхности, бурение трех скважин по 100 м и одной глубиной 600 м, в которых выполнен полный комплекс геофизических и лабораторных исследований. По предварительным оценкам, скальный массив на выбранном участке имеет благоприятные свойства для обеспечения безопасной изоляции РАО.

С целью подтверждения пригодности предварительно рекомендованной площадки для строительства полномасштабного объекта предполагается выполнить в соответствии с нормативными документами полный комплекс необходимых изысканий на поверхности, исследовать массив горных пород в интервале глубин 0-700 м и непосредственно на горизонте планируемого размещения камер с захораниваемыми РАО – в подземной лаборатории.

Федеральный объект окончательной подземной изоляции долгоживущих РАО в комплексе с будущим заводом по переработке ОЯТ легководных реакторов станут важнейшими объектами инфраструктуры единой государственной системы обращения с ОЯТ с учетом перспектив значительного развития ядерной энергетики.