

32929

Роснедра  
ФБУ «ГКЗ»

32929

Протокол ГКЗ №4523-пс от 03.02.2016 г.

Утверждение заключения государственной экспертизы материалов "Геологического доизучения (оценочная стадия) горного массива участка Енисейский для обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+ - 70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)

1 книга

Москва 2016 г.

\_\_\_\_\_ год

хранить \_\_\_\_\_



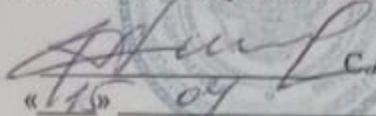
32929

КОПИЯ

Экз. № 1

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель Руководителя Федерального  
агентства по недропользованию

  
С.А. Аксенов  
«15» 09 2016 г.

ПРОТОКОЛ № 4523-пс

заседания

Государственной комиссии по утверждению заключений государственной экспертизы  
запасов твердых полезных ископаемых Федерального агентства по недропользованию

«03» февраля 2016 г.

г. Москва

Утверждение заключения государственной экспертизы материалов  
«Геологического доизучения (оценочная стадия) горного массива участка Енисейский для  
обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-  
525 метров (+5 – -70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов  
(Красноярский край, Нижне-Канский массив)».

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Заместитель Председателя Комиссии,  
Руководитель экспертной комиссии  
Заместитель Председателя Комиссии

- В.И. ВОРОПАЕВ  
- В.В. ШКИЛЬ

Члены Комиссии:

- Т.П. ЛИНДЕ  
- Е.Г. КОМАРОВА  
- О.В. КЕШИШЕВА

Члены Консультационного совета:

- О.И. ГУСЬКОВ  
- Л.З. БЫХОВСКИЙ

Эксперты:

- Г.В. ДЕДУРА  
- А.А. РОШАЛЬ

Секретарь экспертной комиссии

- А.Б. ЛАЗАРЕВ

От ФБУ «ГКЗ»:

Начальник отдела металлов

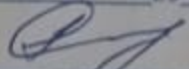
- В.Г. БУДРИК

В данной книге 88 листов текста

В том числе фото, рисунков — штук

Графических приложений — листов

«10» 06 2016 г.

 (Подпись)





Авторы и представители недропользователя:

от ОАО «Красноярскгеология»:  
главный гидрогеолог  
геоэкологической партии

- В.А. КАРАУЛОВ

от ФГУП «НО РАО»:  
главный специалист ПТО,  
Управления строительства

- А.А. ПУГОЛОВКИН

ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВОВАЛ

- В.И. ВОРОПАЕВ

### 1. Рассмотрено заключение государственной экспертизы:

По материалам «Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка «Енисейский» для обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)». Лицензия на пользование недрами КРР 15864 ЗП. Материалы представлены ФГУП «НО РАО».

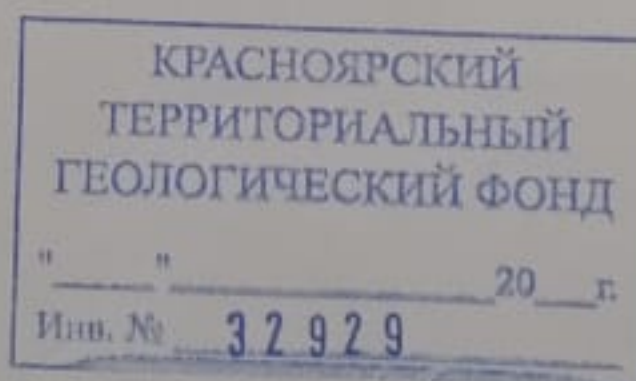
### 2. Решение Комиссии:

2.1. Подтвердить что, по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям участок «Енисейский» является потенциально пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в объеме до 160 тыс. м<sup>3</sup> в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-525 метров (абс. отметки +5 – -70 м БС).

2.2. Признать возможным проведение разведки и опытно-промышленной эксплуатации захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский» в течение 5 лет с момента начала эксплуатации. Результаты разведочных работ и опытно-промышленной эксплуатации участка захоронения с обоснованием его дальнейшего промышленного освоения в установленном порядке представить на государственную экспертизу.

2.3. В соответствии с «Методическими рекомендациями по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых» отнести участок «Енисейский» в целевом интервале глубин 450-525 метров (абс. отметки +5 – -70 м БС) по степени изученности к группе оцененных.

2.4. Считать утратившим силу решение ГКЗ Роснедр (протокол от 13.04.2012 № 2755-пс) в связи с изменением (расширением) интервала захоронения РАО (радиоактивных отходов).



Неотъемлемой частью протокола Комиссии является заключение государственной экспертизы.

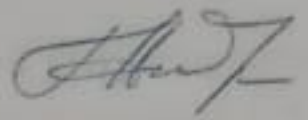
Дата подписания протокола 26.02.2016г.

Заместитель Председателя Комиссии



В.И. Воропаев

Секретарь Комиссии



Г.Б. Андросова



Приложение 1  
к протоколу Комиссии  
от 03.02.2016 г. № 4523-пс

**Федеральное бюджетное учреждение  
«Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых»  
(ФБУ «ГКЗ»)**

**Заключение государственной экспертизы**

по материалам «Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка «Енисейский» для обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)»

Экспертная комиссия создана приказом ФБУ «ГКЗ» от 20 ноября 2015 г. № 01-921/-орг в следующем составе:

**Сотрудники ФБУ «ГКЗ»:**

Руководитель экспертной комиссии

- Воропаев В.И.

Секретарь экспертной комиссии

- Лазарев А.Б.

**Внештатные эксперты:**

- Демура Г.В., д.г.-м.н.

- Верчеба А.А., д.г.-м.н.

- Рошаль А.А. к.г.-м.н.



**1. Экспертной комиссией рассмотрены:**

1.1. Отчет «Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка «Енисейский» для обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)», представленный ФГУП «НО РАО». Ответственный исполнитель – Караулов В.А., ОАО «Красноярскгеология».

1.2. Лицензия на право пользования недрами КРР 15864 ЗП от 01.04.2015 г., лицензионное соглашение к лицензии КРР 15864 ЗП.

**1.3. Заключение заинтересованных организаций:**

- протокол заседания НТС ОАО «Красноярскгеология» от 25.08.2015 № 20;
- протокол заседания НТС ФГУП «НО РАО» от 17.09.2015 № 319-41Р/35-Пр;
- протокол заседания НТС при начальнике департамента Центрсибнедра (секция ТПИ и подземных вод) от 28.09.2015 №02/03-195.

**1.4. Дополнительные материалы, представленные по запросу экспертизы:**

- Положительное заключение государственной экологической экспертизы материалов «Материалы обоснования лицензии на размещение и сооружение не относящегося к ядерным установкам пункта хранения РАО, создаваемого в соответствии с проектной документацией на строительство объектов окончательной изоляции РАО (Красноярский край, Нижне-Канский массив) в составе подземной исследовательской лаборатории (включая материалы оценки воздействия на окружающую среду)», утверждённое Приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 07.12.2015 № 994;

- Заявка ФГУП «НО РАО» № 319-511/3388 от 20.12.2015 г в Роснедра «об исправлении технической ошибки в лицензии КРР 15864 ЗП»;

- письмо Роснедр от 27.01.2016 г № ОК-03-31/698 о признании технической ошибки и определении границ лицензии КРР 15864 ЗП;

- данные по сертификации геофизической аппаратуры.

1.5. Экспертные заключения. Верчеба А.А. (геологическая часть), Демура Г.В. (геофизическая часть). Рошаль А.А. (гидрогеологическая, инженерно-геологическая и экологическая части).

**2. Согласно представленным материалам:**

2.1. Участок «Енисейский» расположен в Сибирском федеральном округе, в Красноярском крае, в пределах промышленной территории ЗАТО (Закрытое административное территориальное образование) г. Железногорск, в пределах зоны наблюдения ФГУП «Горнохимический комбинат» (ФГУП «ГХК») на водоразделе рек Шумиха и Енисей. Ближайшие



населённые пункты: г. Железногорск – в 6 км, с. Атаманово в 8,5 км, пос. Шивера – в 7,5 км, с. Большой Балчуг – в 15,5 км. Ближайший гражданский аэропорт находится в п. Емельяново (пригород г. Красноярск).

В физико-географическом отношении район работ расположен в пределах юго-западной оконечности Восточно-Сибирского плоскогорья, ограниченного с запада долиной Енисея. Восточно-Сибирское плоскогорье в пределах исследуемой площади представлено Атамановским хребтом Енисейского кряжа, для которого характерен низко- и среднегорный рельеф с абсолютными отметками от 140 до 573 м. Территория исследований находится в зоне умеренных широт и характеризуется резко континентальным климатом с продолжительной суровой зимой и коротким жарким летом. Среднегодовая температура составляет -0,1°C. Среднегодовое количество осадков составляет 300...500 мм, их распределение по сезонам года очень неравномерное. Речная сеть исследуемой территории принадлежит к бассейну реки Енисей. Удаление участка от р. Енисей составляет 4 км. Енисей является региональным базисом дренирования для всей исследуемой территории.

Наиболее крупным правым притоком Енисея в пределах участка Енисейского является небольшая речка Шумиха, имеющая протяженность около 10,5 км и непосредственно дренирующая наиболее значительную часть изучаемого участка.

2.2. Работы на участке «Енисейский» проводились в рамках реализации Федеральной целевой программы (ФЦП) «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 13 июля 2007 года № 444.

В п. 33 ФЦП предусмотрена «Подготовка проектной документации по строительству объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)».

2.3. Работы выполнены ОАО «Красноярскгеология» по договору с ФГУП «НО РАО» от 09.04.2015 №319/576-д.

2.4. Поиски на участке «Енисейский» были проведены в 2009-2010 гг. на площади 500 га. По результатам проведенных работ был составлен отчет и представлен на государственную экспертизу в ФБУ «ГКЗ». Протоколом ГКЗ Роснедра № 2367 пс-дсп от 17.12.2010 г. было признано, что по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям блок 37 участка «Енисейский» является перспективным для дальнейшего изучения с целью обоснования его пригодности для захоронения радиоактивных отходов в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-550 м. Участок по степени изученности был отнесен к выявленным.

Оценочные работы на участке «Енисейский» были проведены в 2010-2011 гг. на площади



6,2 км<sup>2</sup> в рамках лицензии КРР № 01696 ТП, владельцем которой являлось ФГУП «ГХК». Результаты исследований прошли государственную экспертизу в ФБУ ГКЗ по результатам которой ГКЗ Роснедра (протокол № 2755-пс от 13.04.2012 г.):

- подтвердила, что по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям участок «Енисейский» является пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-475 м.;

- признала возможным проведение строительства и опытно-промышленной эксплуатации первой очереди захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский», объемом до 110,7 тыс. м<sup>3</sup> на двух эксплуатационных горизонтах – 450 и 475 м, в течение 5 лет с момента начала эксплуатации;

- в соответствии с «Методическими рекомендациями по обоснования выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых» отнесла участок «Енисейский» по степени изученности к группе «оцененных».

Кроме того ГКЗ Роснедра рекомендовала недропользователю:

- обратиться в установленном порядке в Красноярскнедра с мотивированной просьбой об оформлении лицензии на право пользования недрами участка «Енисейский» для строительства и эксплуатации пункта захоронения радиоактивных отходов, предусмотрев в условиях лицензионного соглашения этап разведочных работ и опытно-промышленную эксплуатацию первой очереди;

- составить технический проект пункта глубинного захоронения первой очереди и утвердить его в установленном порядке;

- выполнить разведочные работы на площади участка «Енисейский», в ходе которых провести:

- геологическое картирование и составление карты поверхности участка с целью наиболее точного выявления тектонических нарушений;

- более детальную высокоточную цифровую магнитную съемку по сети 50x5 м на участке строительства, с последующей глубокой обработкой и созданием объемной модели массива;

- гидрометрические работы на р. Шумиха и оценку изменчивости стока, с целью обоснования сброса и разбавления дренажных вод;

- поиски подземных вод для технического водоснабжения предприятия;

- в период строительства и проведения опытно-эксплуатационных работ провести исследования с целью уточнения следующих показателей:

- геологическое строение массива и дизъюнктивная тектоника;



- инженерно-геологические условия поверхности массива, обуславливающих строительство наземных сооружений;

- гидрогеологические характеристики массива горных пород в плане и по глубине...;

- изменение pH-Eh подземных вод по глубине;

- изменение возраста подземных вод по глубине;

- геотермический градиент в массиве горных пород;

- коэффициенты... и скорости фильтрации подземных вод по зонам тектонических нарушений...;

- объемы водопритоков по интервалам глубин;

- исследование распределения и размеров трещин по глубине...;

- петрографический состав горных пород;

- физико-механические и теплофизические характеристики горных пород...;

- параметры напряженно-деформированного состояния в массиве горных пород...;

- параметры зон трещиноватости и характеристика материалов-заполнителей трещин;

- сорбционно-миграционные характеристики пород и материалов-заполнителей трещин...;

- оптимальное расстояние между двумя горизонтами;

- характеристики захораниваемых кондиционированных долгоживущих радиоактивных отходов;

- (степень) влияния тепловыделения высокордиоактивных отходов на материал закладки, горные породы и подземные воды;

- разработать контейнеры для высокоактивных стекол ПО «Маяк», для долгоживущих радиоактивных отходов, а также транспортные контейнеры...;

• в случае выявления в процессе разведочных работ, строительства и опытно-промышленной эксплуатации существенного изменения или отклонения от установленных геологических, гидрогеологических условий, необходимо представить материалы на государственную экспертизу повторно;

• представить отчетные материалы по результатам разведочных работ и опытно-промышленной эксплуатации полигона захоронения с обоснованием его дальнейшей промышленного освоения в установленном порядке на государственную экспертизу.

После принятия Федерального закона № 190-ФЗ от 11.07.2011 г. «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», ФГУП «ГХК» с 2012 г. не выполняло работ по геологическому изучению недр участка, а в 2015 г. сдало лицензию КРР № 01696 ТП. В структуре Государственной корпорации (ГП) «Росатом» было создано ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (ФГУП «НО РАО»), которое распоряжением



правительства Российской Федерации № 384-р от 20.03.2012 г. было назначено национальным оператором, уполномоченным осуществлять деятельность по обращению с РАО.

2.5. Для осуществления функций государственного заказчика всех работ по созданию пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) на участке «Енисейский» ФГУП «НО РАО» получило в Федеральном агентстве по недропользованию (Роснедра) лицензию КРР 15864 ЗП от 01.04.2015 г. на срок до 01.04.2020 г.

Согласно лицензионным условиям по объемам, основным видам и срокам проведения работ недропользователь обязан:

2.5.1. Обеспечить финансирование комплекса работ по геологическому изучению участка недр за счёт собственных, в том числе привлечённых средств.

2.5.2. Выполнить следующий комплекс работ на участке недр:

- до начала работ разработать и утвердить проектную документацию на геологическое изучение участка недр, предусматривающую этап опытно-промышленного захоронения радиоактивных отходов в выбранный пласт-коллектор архейских отложений, получив необходимые экспертизы и согласования;

- в течение срока действия лицензии выполнить работы по геологическому изучению участка недр, в соответствии с утверждённой проектной документацией;

- не позднее двух лет с даты государственной регистрации лицензии разработать и согласовать с территориальным органом Распорядителя недр программу мониторинга подземных вод;

- после завершения работ, предоставить отчет о результатах геологического изучения недр на государственную экспертизу геологической информации;

- осуществлять ведение мониторинга подземных вод в соответствии с утверждённой Проектной документацией и постоянный контроль за межпластовыми перетоками, площадным распространением отходов, по созданной сети нагнетательных и наблюдательных скважин в течение всего срока опытно-промышленного размещения.

2.5.3. Проведение полевых работ по геологическому изучению участка недр разрешается при наличии:

- утверждённой в установленном порядке проектной документации соответствующих видов работ, прошедшей необходимые согласования и экспертизы;

- государственной регистрации работ в территориальном органе Распорядителя недр;

- оформленных в установленном порядке разрешений на пользование земельными



участками для проведения соответствующих видов работ.

2.5.4. Владелец лицензии должен обеспечить соблюдение утверждённой проектной документации на геологическое изучение недр.

2.5.5. Владелец лицензии обязан обеспечить полноту геологического изучения участка недр.

Условия лицензионного соглашения выполняются.

В ходе проведения экспертизы выявилось, что в условиях пользования недрами лицензии КРР 15864 ЗП имеются несоответствия, а именно, графический контур участка недр не соответствует координатам угловых точек, то есть была выявлена техническая ошибка. Согласно ст. 7.1 ФЗ «О недрах» недропользователь обратился в Роснедра с заявлением об устранении ошибки (Заявка ФГУП «НО РАО» № 319-511/3388 от 20.12.2015 г). Роснедра признало ошибку и письмом от 27.01.2016 г № ОК-03-31/698 рекомендовало, до устранения технической ошибки в установленном порядке, принимать границы участка недр «Енисейский» в соответствии с границами Ситуационного плана (Приложение 3) к лицензии КРР 15864 ЗП.

2.6. Выявленные в ходе предыдущих исследований высокие положительные характеристики горно-геологических условий Енисейского участка, позволили ГК «Росатом» принять решение о проведении работ по обоснованию расширения интервала захоронения с целью окончательной изоляции как можно большего количества РАО.

В соответствии с Техническим (геологическим) заданием, согласованным департаментом по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу, целевым назначением работ является комплексная геологическая, гидрогеологическая, и инженерно-геологическая оценка интервала захоронения радиоактивных отходов на отметках +5 – -70 м БС на участке «Енисейский» Нижне-Канского массива для обоснования строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов. Именно на оценку этого интервала были ориентированы программы инженерных изысканий, которые проводились под руководством и при непосредственном участии ОАО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии (ОАО «ВНИПИпромтехнологии») на основе договора с государственным заказчиком – ФГУП «НО РАО». Проектно-изыскательские работы начаты в 2013 году.

В основу обоснования возможности расширения интервала захоронения от абсолютных отметок  $\pm 0$  – -25 м до отметок +5 – -70 м БС положены материалы предшествующих геологоразведочных работ, а также материалы инженерных изысканий, выполненных на предпроектной и проектной стадиях. Обоснована возможность захоронения до 160 тыс. тонн радиоактивных отходов.



Краткое изложение авторского обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС (балтийская система высот)) на участке Енисейский приведены в авторской справке, прилагаемой к настоящему заключению.

### 3. Экспертная комиссия отмечает:

3.1. Материалы отчёта были рассмотрены на НТС ОАО «Красноярскгеология» (протокол №20 от 05.08.2015 г), на НТС ФГУП «НО РАО» (протокол № 3/941Р/35Пр от 17.09.2015 г) и на заседании НТС при начальнике департамента Центрсибнедра (секция ТПИ и подземных вод) (протокол №02/03-195 от 28.09.2015). Материалы признаны соответствующими требованиям и их рекомендовано направить на государственную экспертизу в ФБУ «ГКЗ».

3.2. Представленные материалы, учитывая оценочную стадию работ, соответствуют требованиям государственной экспертизы и достаточны для проверки выполненного обоснования возможности расширения интервала захоронения РАО. Экспертиза отмечает отсутствие некоторых материалов:

- отсутствует инженерно-геологическая карта, характеризующая условия наземного строительства, и разрезы к ней;
- отсутствуют также ряд карт геологического содержания (геоморфологическая, радиационная, гидрохимическая), составление которых определено ТЗ;
- отсутствует тектоническая карта (схема);
- нет сведений о ряде гидрогеологических параметров (коэффициенты взаимосвязи поверхностных и подземных вод, коэффициенты вертикальной фильтрации расчетных слоев и абсолютные отметки их кровель и подошв), принятых при разработке и калибровке фильтрационной модели;
- нет фактических данных по стоку р. Большой Тель, которая была принята в качестве реки-аналога для расчета подземных вод в р. Шумиху;
- нет данных о расчетных балансах модели при решении различных задач;
- нет данных по содержанию трития в пробах воды, отбиравшихся во время проведения односкважинного опыта;
- нет данных по сертификации геофизической аппаратуры. Данные представлены в полном объёме по запросы экспертизы.

Данные материалы необходимо будет разработать и представить в составе отчёта по разведочным работам.

3.2. С 2013 г. На участке «Енисейский» был выполнен большой комплекс изысканий, в том числе следующие работы:



- инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания под шахтные стволы (технологический и вспомогательный, вентиляционный);
- инженерно-геодезические изыскания под наземные площадки ПЗРО и трассы коммуникаций;
- инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- мониторинг гидрогеологических условий и исследование керна скважин;
- инженерно-экологические изыскания по площадкам проектируемых наземных объектов ПЗРО;
- геофизические изыскания и исследования, в т.ч.:
  - площадная магнитная съемка (уточнение геолого-структурных особенностей участка) и инженерно-геофизические изыскания;
  - сейсмические исследования и изыскания (в т.ч. определение исходной сейсмичности участка, сейсмическое районирование, микросейсмическое районирование, определение динамических характеристик в местах сооружения наземных объектов), определение возможного расположения разломов по данным космоснимков;
  - цикл GPS-наблюдений за геодинамическими процессами (современными движениями земной коры).

По результатам этих работ была подготовлена проектная документация по строительству объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив) (Москва, 2013) и рассматриваемый отчет.

**3.3.** Участок «Енисейский» расположен в пределах юго-западного выступа складчатого фундамента Сибирской платформы. Принадлежит к юго-западной (Ангаро-Канской) части Енисейского кряжа.

В геологическом строении участка Енисейского принимают участие мигматизированные гнейсы и кристаллические сланцы атамановской серии канского метаморфического комплекса архея, два комплекса секущих даек основного состава позднеархейского и раннепротерозойского возрастов и современные элювиально-склоновые отложения. Большой комплекс исследований и изысканий, выполненный в 2013-2014 гг. не внес каких-либо существенных изменений в представления о геологическом строении участка, сформированные в 2010-2011 гг.

В геологическом отношении целевой интервал слагают очень плотные, слабо трещиноватые мигматизированные, иногда окварцованные биотитовые плагиогнейсы, биотит-кордиеритовые и гранат-гиперстеновые гнейсы и кристаллические сланцы атамановской метасерии с реликтовой полосчатостью, подчеркивающей моноклинально полого залегающее на юго-запад крыло антиклинальной складки. В количественном отношении плагиогнейсы



составляют 25%, кордиеритсодержащие разности 56% и гранат- и пироксенсодержащие разности 19%.

Гнейсовая толща блока прорвана дайками основного состава первого этапа внедрения мощностью от первых до первых десятков метров (секущие и послойные метадолериты) и второго этапа мощностью от 0,7 до 2,6 м (секущие трахидолериты, габбро-диабазы, диабазовые порфириты). Площадь участка Енисейского совмещается с одним из монолитных блоков, ограниченных Атамановским и Правобережным разломами с запада и востока, и диагональными по отношению к ним Байкальским и Шумихинским с юго-запада и северо-востока. Рудные полезные ископаемые и месторождения подземных вод в пределах участка отсутствуют. Перспективных геохимических аномалий не выявлено.

3.4. В гидрогеологическом отношении участок «Енисейский» расположен в пределах Ангаро-Канского гидрогеологического массива Енисейской складчатой области, характеризующегося преимущественным распространением трещинных и трещинно-жильных вод. По условиям обводненности и условиям распространения и движения подземных вод здесь выделяются следующие гидрогеологические подразделения:

- 1) локально обводненный горизонт четвертичных покровных отложений;
- 2) относительно водоносная зона экзогенной трещиноватости раннеархейских пород;
- 3) водонепроницаемая зона раннеархейских пород.

*Локально обводненный горизонт четвертичных покровных отложений* распространен до глубины 31,3 м и не выдержан по площади. Водовмещающие отложения представлены суглинками, супесями и песками с включениями дресвы и щебня. Питание подземных вод этого горизонта происходит за счет атмосферных осадков и путем перетока из смежной относительно водоносной зоны. Разгрузка их осуществляется в долинах ручьев и путем перетока вниз.

Подземные воды горизонта пресные гидрокарбонатные кальциевые. Их химический состав обусловлен непродолжительным периодом фильтрации атмосферных осадков.

По мнению авторов данное гидрогеологическое подразделение не окажет существенного влияния на условия строительства горных выработок, так как он будет сдренирован на первых этапах строительства с чем экспертиза согласна.

*Относительно водоносная зона экзогенной трещиноватости раннеархейских пород* приурочена к верхней части разреза (до глубин 50 - 150 м). Эта зона открытой экзогенной и эндогенной трещиноватости определена по керну всех типов пород. Она содержит трещинные и трещинно-жильные воды.

Глубина залегания уровня подземных вод этой зоны зависит от рельефа и составляет до 15 - 20 м. Породы большей части разреза являются непроницаемыми. Лишь незначительная часть



разреза представлена слабопроницаемыми породами (коэффициенты фильтрации этих пород составляют от 0,0002 до 0,3 (в среднем 0,011) м/сут). Эти породы слагают незначительные по мощности относительно водопроницаемые зоны микротрещиноватости, которые имеют субгоризонтальное залегание.

Питание подземных вод этой относительно водоносной зоны происходит за счет атмосферных осадков и путем перетока из четвертичного водоносного горизонта. Разгрузка происходит преимущественно в долинах ручьев, значительно меньше - в подстилающую толщу массивных пород.

Подземные воды зоны пресные (минерализация 0,27-0,5 г/дм<sup>3</sup>) гидрокарбонатные кальциевые. Они обладают незначительной агрессивностью к бетону и средней агрессивностью к алюминиевым оболочкам кабелей. Значения окислительно-восстановительного потенциала свидетельствуют о том, что в подземных водах этой зоны преобладает восстановительная обстановка. Содержание микроэлементов низкие и находятся в пределах питьевых и рыбохозяйственных нормативов. При этом, однако, отмечаются единичные превышения над ПДК по марганцу, барию и титану.

Естественная радиоактивность подземных вод этой зоны была установлена только в одной пробе ( $\alpha$ -активность равна 0,38 Бк/л (1,9 предельно допустимый уровень (ПДУ)), а  $\beta$ -активность - 0,64 Бк/л (0,64 ПДУ)).

Авторы полагают, что эта зона «будет оказывать определяющее влияние на обводнение горных выработок в процессе строительства и эксплуатации с чем экспертиза также согласна.

*Водонепроницаемая зона раннеархейских пород* начинается с глубин 50 - 150 м. Эта зона сложена довольно монолитным блоком переслаивающихся разновидностей архейских высокопрочных гнейсов и кристаллических сланцев с внедрившимися дайками габбро-диабазов, претерпевшими изменения вместе с вмещающими породами. Здесь ограничено (менее 0,5% от объема пространства) распространены трещинно-жильные и поровые (микropоровые) подземные воды.

Питание подземных вод этой зоны происходит путем перетока из вышележащей относительно водоносной зоны. Разгрузка происходит за пределами изученного участка в смежные гидрогеологические подразделения.

Подземные воды этой зоны пресные (минерализация от 0,25 до 0,64 г/дм<sup>3</sup>) гидрокарбонатные кальциевые. Воды являются неагрессивными или слабоагрессивными.

Естественная радиоактивность подземных вод этой зоны определена в многочисленных пробах, отобранных по всему вскрытому гидрогеологическому разрезу скважин, пробуренных в



разное время. В большинстве проб значения активности находятся ниже пределов аналитической чувствительности. Максимальные же значения радиоактивности составляют:  $\alpha$ -активность - до 0,15 Бк/л (0,75 ПДУ),  $\beta$ -активность - до 0,13 Бк/л (0,13 ПДУ)

Авторы обоснованно полагают, что эта водонепроницаемая зона окажет лишь ограниченное влияние на обводнение горных выработок. Обусловлено это низкими фильтрационными свойствами водовмещающих отложений.

Отмечается, что в пределах всей территории распространения архейских кристаллических пород Ангаро-Канского гидрогеологического массива Енисейской складчатой области не известны подземные водные объекты, которые могут представлять интерес для централизованного водоснабжения. Здесь нет разведанных месторождений подземных вод любого назначения. Объясняется это крайне низкой водоносностью слагающих его пород и незначительность естественных ресурсов подземных вод (среднегодовой подземный сток составляет от 1 до 2 л/сек с 1 км<sup>2</sup> (~32-61 мм в год)).

Экспертиза считает, что гидрогеологическая изученность территории достаточна для данной стадии. Выбор участка геологического изучения недр и целевых горизонтов возражений у экспертизы не вызывает.

3.5. Инженерно-геологические условия участка «Енисейский» изучались на предыдущих стадиях геологического изучения недр и процессе инженерных изысканий, выполнявшихся в последнее время. Здесь выделены следующие стратиграфо-генетические комплексы (СГК):

- голоценовый аллювиальный комплекс пойм рек, ручьев и днищ балок;
- элювиально-склоновый нерасчлененный комплекс;
- коллювиально-склоновый нерасчлененный комплекс;
- пролювиально-склоновый комплекс;
- вознесенский озерный, озерно-аллювиальный комплекс;
- рифейский интрузивный комплекс;
- архей-протерозойский метаморфический комплекс.

Подземное строительство развернется в следующих СГК.

*Рифейский интрузивный комплекс* развит под элювиально-делювиальными и коллювиально-делювиальными отложениями. Он включает, большей частью, граниты, диориты и гранодиориты Нижнеканского комплекса. Граниты имеют пористость до 1,15%, плотность в естественном состоянии – 2,62 г/см<sup>3</sup>. Модуль общей деформации в естественном состоянии равен 10000 МПа. Коэффициент крепости (по Протодьяконову) составляет 10-15 д. ед., водопоглощаемость до 0,43%. Породы интенсивно «разбиты» тектоническими зонами на блоки. Прочностные и деформационные свойства гранитов в блоках в 2-3 раза выше, чем на участках



разрывных нарушений.

*Архей-протерозойский метаморфический комплекс* распространен, в основном, под рыхлыми элювиально-делювиальными отложениями. Он представлен скальными породами: гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами общей мощностью до 2400 м. Прочностные свойства пород комплекса уменьшаются на участках развития тектонических нарушений.

При проведении инженерно-геологических изысканий в 2014 г. на площадках проектируемых объектов опасных природных процессов не выявлено. Отмечается лишь возможность проявления морозного пучения и просадок покровных суглинков при их замачивании.

Экспертиза считает, что инженерно-геологическая изученность территории достаточна для данной стадии.

**3.6.** Геотермические условия участка «Енисейский» изучались на предыдущих этапах геологического изучения недр и при инженерных изысканиях для строительства подземных сооружений, проведенных на данном этапе. В результате было установлено, что:

- геотермический градиент находится в диапазоне от  $1,3^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$  до  $1,8^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ , что соответствует среднему значению для земной коры на глубинах до 20 км;
- температура недр на глубине проектируемого сооружения составляет около  $10^{\circ}\text{C}$ , что благоприятно для охлаждения тепловыделяющих РАО.

В отношении теплофизических свойств разрез является практически однородным.

**3.7.** Для оценки водопритоков в горные выработки и решения вопросов, связанных с долговременной безопасностью проектируемого объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов была разработана региональная фильтрационная модель территории. Анализ показывает, что эта модель соответствует природному прототипу лишь качественно (полуколичественно) и, следовательно, носит концептуальный и иллюстративный характер. Все численные оценки, полученные авторами на основе этой модели, должны быть признаны сугубо ориентировочными.

**3.8.** Водопритоки на этапе строительства стволов, согласно расчётам, могут достигать  $13,07\text{ м}^3/\text{час}$ .

Сброс дренажных вод при строительстве подземных объектов возможен в поверхностные водные объекты. Наиболее предпочтительными из них являются ручьи (притоки реки Шумихи). В этом случае точка сброса дренажных вод будет максимально удалена от р. Енисей. Оценка показывает, что при указанном выше максимальном сбросе дренажных вод средний



расход р. Шумихи увеличится на 9%. Это обеспечит десятикратное разбавление дренажных вод, в которых возможно превышение концентраций некоторых элементов над рыбохозяйственными ПДК. Тем не менее, авторы рекомендуют для очистки дренажных вод перед их сбросом в поверхностные воды проводить специальные мероприятия. С этим следует согласиться.

**3.9.** Оценка расчетного возраста воды выполнена авторами гидродинамическим методом с использованием региональной фильтрационной модели. В результате по расчету авторов возраст древних вод составил 4880 лет. Эти расчеты выполнены методически правильно. Однако достоверность полученных результатов представляется невысокой. Обусловлено это тем, что миграционные параметры приняты авторами по аналогии и данным единичных лабораторных определений.

**3.10.** Оценка абсолютного возраста подземных вод проводилась путем изучения изотопного состава. Обработка данных выполнена авторами методически правильно, без существенных технических погрешностей.

**3.11.** Оценка долговременной безопасности проектируемого объекта выполнена авторами на профильной модели, согласованной с региональной фильтрационной моделью. Авторами прогнозировалась миграция десяти радиоизотопов. При моделировании учитывалась сорбция и естественный радиоактивный распад. Обоснованность результатов этих прогнозов с качественной точки зрения не вызывает сомнений. Однако представленные количественные оценки являются сугубо ориентировочными. Это, прежде всего, связано с низкой достоверностью миграционных параметров, принятых по литературным данным и единичным лабораторным определениям. Тем не менее, эти оценки дают ориентировочное представление о порядке прогнозируемых величин.

**3.12.** С помощью численной математической модели двухфазной миграции авторами выполнена оценка роли процессов газогенерации и тепловыделения на пути миграции и возможные масштабы радиоактивного загрязнения. Результаты прогнозов, как и прочие результаты моделирования, носят качественный характер. Количественные же оценки авторов представляются сугубо ориентировочными.

**3.13.** Для оценки долговременной безопасности ПГЗРО авторами выполнены также расчеты удельного тепловыделения и температурного напряжения. По результатам этих расчетов авторы сделали вполне обоснованный вывод о том, что сооружение подземной инфраструктуры ПГЗРО не приведет к существенным изменениям напряженно-деформированного состояния.



3.14. Основываясь на результатах проведенных работ, в целом, и моделирования, в частности, экспертиза считает, что участок «Енисейский» по гидрогеологическим условиям является благоприятным для строительства объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов в интервале глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС). Этот участок соответствует нормативным требованиям к обеспечению безопасности (НП-055-14). В результате геологического изучения недр (в т.ч. его данного этапа) выявлено следующее:

- в пределах рабочей толщи не содержится линз рассолов, пластов проницаемых пород;
- область горных пород не содержит водоносных горизонтов, линз подземных вод или трещиноватых зон, по которым возможен водоприток в горные выработки и их затопление;
- подземные воды имеют восстановительный характер, слабощелочную реакцию и низкую минерализацию;
- активные разломы в пределах площадки отсутствуют;
- выше намечаемой глубины заложения сооружений ПЗГРО располагаются не пригодные для водоснабжения водоупорные и водоносные горизонты;
- отсутствуют обнаруженные и (или) вероятные каналы гидравлической связи намечаемых интервалов размещения ПЗРО с дневной поверхностью, с выше- и нижележащими водоносными горизонтами (включая не пригодные для водоснабжения);

3.15. Перенос большинства радионуклидов будет существенно замедляться в результате их сорбции на вмещающих породах. Согласно расчётам во всех изученных типах пород скорость распространения плутония и америция будет на 3 порядка меньше скорости распространения потока подземных вод, а нептуния - более чем на 1-2 порядка. Отставание урана в породах зоны дробления будет составлять 1-2 порядка, а в гнейсах – 3 порядка.

Экспертиза признаёт эти результаты и выводы авторов обоснованными.

3.16. В 2013-2014 гг на объекте была проведена магнитная съемка по сети 25x5 м и проведена интерпретация данных по технологии анизотропной магнитной геотомографии. В результате получено объемное томографическое изображение массива на площади 3.0 кв. км. Полученные результаты позволили достоверно определить субвертикальное падение пород дайкового комплекса и зон тектонических нарушений в верхней части геологического разреза (ВЧР), установить их замыкания (для даек) и затухания (для тектонических нарушений) на глубинах 300-350 метров, т.е выделенные тектонические зоны и породы дайкового комплекса выклиниваются и не достигают глубин целевого горизонта. Это обстоятельство позволяет согласиться с тем, что в нижней части разреза сплошность массива по этим результатам почти не нарушена.

3.17. На участке выполнен полный комплекс геофизических каротажных работ, на



десяти поисково-оценочных скважинах и увязанных с ними четырьмя гидрогеологическими скважинами в двух кустах и шести изыскательских скважин.

Экспертиза признает хорошее качество проведенных геофизических работ и результаты анизотропной магнитной геотомографии, позволившие уточнить геологические условия на уникальном объекте захоронения РАО и подземной лаборатории и безопасность глубинного участка строительства, с точки зрения отсутствия обводнённости и зон тектонической нарушенности.

**3.18.** Статистическая обработка микросейсмических данных показала отсутствие заметной сейсмической активности в районе площадки ПГЗРО, а также влияние активных разломов на сейсмичность территории. Выводы по сейсмической активности глубоких отражающих горизонтов ОГ-1, ОГ-2 следует учесть при проведении детального сейсмического районирования территории строительства ПЗРО. Вывод о том, что «при консервативном подходе для подземных выработок объекта ПГЗРО сейсмическая сотрясаемость (интенсивность) составит 7 баллов для карты ОСР-97Д (МРЗ) и 6 баллов для карты ОСР-97В (ПЗ)» можно считать обоснованным. Экспертиза подчёркивает сложность решения данной проблемы по глубоко залегающему объекту строительства и рекомендует проведение обстоятельного изучения на стадии обоснования рабочего проекта.

**3.19.** По запросу экспертизы присланы полные метрологические документы, касающиеся методов ГИС (сертификаты аппаратуры и эталонов, градуировочные графики, акты поверок, вплоть до измерений длины каротажного кабеля, паспорта сейсмоприёмников, использовавшиеся в методе МОВ-ОГТ, сертификат протонного магнитометра и данные его поверки.

**3.20.** На данном этапе решены вопросы водоснабжения проектируемого предприятия.

Протоколом Территориальной комиссии по запасам полезных ископаемых (ТКЗ) Департамента по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу от 15.10.2015 № 1238 были утверждены запасы подземных вод по категории  $C_1$  в количестве 0,143 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, по категории  $C_2$  в количестве 0,443 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

**3.21.** Авторами выполнены необходимые оценки, связанные с охраной окружающей среды. Результаты этих оценок представлены в составе проектной документации на строительство объекта.

Основные предложения и выводы авторов сводятся к следующему:

- не допускается сброс загрязнённых сточных вод с площадок ПГЗРО в гидрографическую сеть района;



- сброс очищенных и обеззараженных бытовых, а также часть очищенных и обеззараженных ливневых и шахтных стоков будет осуществляться в гидрографическую сеть;
- не ожидается превышения предельно допустимых концентраций на границе СЗЗ и в ближайшей жилой застройке г. Железногорска;
- образование основной массы отходов связано с подземными горнопроходческими работами; предусмотрен вывоз отходов I-III классов опасности с территории предприятия на обезвреживание в специализированные организации, имеющие соответствующие лицензии на обращение с отходами и вывоз бытовых отходов IV-V классов на размещение (захоронение) на объектах размещения отходов;
- перед началом работ осуществляется снятие растительного слоя почвы и складирование их в специально отведенных местах в кавальерах для последующего использования при рекультивации территорий;
- в части охраны недр предусмотрены: вентиляция подземных выработок, закладка выработанного пространства твердеющими смесями, откачка шахтных вод; решения, обеспечивающие условия безопасного ведения подземных работ, маркшейдерское обслуживание и т. д.;
- для предотвращения гибели объектов животного мира запрещается выжигание растительности, хранение и применение ядохимикатов, удобрений, химических реагентов, горюче-смазочных и других материалов, опасных для объектов животного мира и среды их обитания, без осуществления мер, гарантирующих предотвращение заболеваний и гибели объектов животного мира, ухудшения среды их обитания.

Авторами также разработаны рекомендации по ведению экологического мониторинга в областях:

- атмосферный воздух;
- подземные воды;
- поверхностные воды;
- почвы;
- растительный и животный мир;
- радиационный контроль;
- управление отходами;
- рекультивация.

Проработки авторов по охране окружающей среды и их предложения по организации экологического мониторинга являются достаточно полными и соответствуют законодательству и нормативным документам РФ.



Дополнительно, по требованию экспертизы недропользователь предоставил Положительное заключение государственной экологической экспертизы «Материалов обоснования лицензии на размещение и сооружение не относящегося к ядерным установкам пункта хранения РАО, создаваемого в соответствии с проектной документацией на строительство объектов окончательной изоляции РАО (Красноярский край, Нижне-Канский массив) в составе подземной исследовательской лаборатории (включая материалы оценки воздействия на окружающую среду)», утверждённое Приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 07.12.2015 № 994.

3.22. Экспертиза подтверждает, что участок Енисейский соответствует требованиям МАГАТЭ, национальным требованиям НП-055-14, а также рекомендациям МПР РФ.

3.23. Выбор участка под захоронение РАО в целом возражений не вызывает. Вместе с тем комиссия отмечает, что достаточно высокий уровень изученности был получен только в пределах промышленной площадки подземного сооружения. В то же время зона влияния подземного сооружения, а в особенности область возможной миграции радионуклидов после их выхода за пределы системы инженерных барьеров объекта, не изучалась, что является существенным упущением не позволяющим осуществлять достоверные количественные прогнозы миграции радиоактивных веществ. В связи с этим на стадии разведочных работ следует провести необходимый комплекс дополнительных исследований по результатам которых решить вопрос о подготовленности участка к промышленной эксплуатации.

#### **4. Рекомендовать недропользователю:**

4.1. В процессе дальнейшего изучения следует уточнить геологическое строение, гидрогеологические условия и геоэкологическую обстановку на вероятных путях миграции радионуклидов, начиная от промышленной площадки и кончая областями разгрузки загрязнённых подземных вод. При этом особое внимание следует уделять численным характеристикам свойств горных пород и массива в целом, влияющим на возможность и скорость распространения загрязняющих радионуклидов.

4.2. Изучению подлежат изменчивость минерального и петрографического состава вмещающих пород на всем пути распространения загрязняющих компонентов, их геохимические и радиогеохимические природные особенности, трещиноватость и целостность массива в целом, сорбционные свойства пород.

4.3. Гидрогеологические и связанные с ними условия (поверхностный сток, осадки, инфильтрация) должны быть изучены с детальностью, позволяющей получить обоснованные значения параметров для проведения численного математического моделирования процессов фильтрации подземных вод и миграции загрязняющих компонентов. Полученные исходные



данные должны обеспечивать калибровку используемых моделей.

4.4. Поставленные задачи рекомендуется решить путем реализации исследований по следующим направлениям:

- инженерно-геологические, инженерно-гидрогеологические, геофизические и экологические изыскания по направлению линии разгрузки потока подземных вод от объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов (ООИ РАО) до р. Енисей;
- многофакторный анализ результатов изысканий и моделирование процессов миграции радионуклидов с целью оценки негативного воздействия ООИ РАО на наблюдаемые компоненты.
- сбор, анализ материалов по изученности факторов потенциального воздействия ООИ РАО на окружающую среду;
- определение возраста вод по линии разгрузки потока подземных вод в р. Енисей;
- определение сорбционных свойств массива на участке распространения загрязненных подземных вод от ООИ РАО до зоны разгрузки потока подземных вод в р. Енисей;
- изучение сопротивления русловых отложений реки Енисей в месте вероятной разгрузки загрязненных подземных вод;
- получение воднобалансовых характеристик, необходимых для создания численной математической модели процессов фильтрации загрязненных подземных вод и миграции техногенных радионуклидов;
- изучение гидрологических характеристик и режима поверхностных вод реки Шумиха с целью оценки изменчивости стока, для обоснования сброса и разбавления дренажных вод.

4.5. Представить отчетные материалы по результатам разведочных работ и опытно-промышленной эксплуатации полигона захоронения с обоснованием его дальнейшего промышленного освоения в установленном порядке на государственную экспертизу.

4.6. В составе отчета по результатам разведочных работ предоставить материалы, перечисленные в п. 3.1 настоящего заключения.

## 5. Решение экспертной комиссии:

### 5.1. Рекомендовать Роснедра.

5.1.1. Подтвердить что, по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям участок «Енисейский» является потенциально пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в объеме до 160 тыс. м<sup>3</sup> в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС).

5.1.2. Признать возможным проведение разведки и опытно-промышленной эксплуатации



участка захоронения радиоактивных отходов «Енисейский» в течение 5 лет с момента начала эксплуатации. Результаты разведочных работ и опытно-промышленной эксплуатации участка захоронения с обоснованием его дальнейшего промышленного освоения в установленном порядке представить на государственную экспертизу.

5.1.3. В соответствии с «Методическими рекомендациями по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых» отнести участок «Енисейский» в целевом интервале глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС) по степени изученности к группе оцененных.

5.1.4. Считать утратившим силу решение ГКЗ Роснедр (протокол № 2755-пс от 13.04.2012 г.) в связи с изменением (расширением) интервала захоронения РАО отходов.

Руководитель экспертной комиссии

Воропаев В.И.

Секретарь экспертной комиссии

Лазарев А.Б.

Эксперты:

Верчеба А.А.

Демура Г.В.

Рошаль А.А.





Приложение 2  
к протоколу Комиссии  
от «03» февраля 2016 г.  
№ 4523-пс

### Рекомендации

Членов Консультационного Совета (секция твердых полезных ископаемых) по материалам государственной экспертизы отчёта «Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка «Енисейский» для обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)» представленного ФГУП «НО РАО».

1. В процессе дальнейшего изучения следует уточнить геологическое строение, гидрогеологические условия и геоэкологическую обстановку на вероятных путях миграции радионуклидов, начиная от промышленной площадки и кончая областями разгрузки загрязненных подземных вод. При этом особое внимание следует уделять численным характеристикам свойств горных пород и массива в целом, влияющим на возможность и скорость распространения загрязняющих радионуклидов.

2. Изучению подлежат изменчивость минералогического и петрографического состава вмещающих пород на всем пути распространения загрязняющих компонентов, их геохимические и радиогеохимические природные особенности, трещиноватость и целостность массива в целом, сорбционные свойства пород.

3. Гидрогеологические и связанные с ними условия (поверхностный сток, осадки, инфильтрация) должны быть изучены с детальностью, позволяющей получить обоснованные значения параметров для проведения численного математического моделирования процессов фильтрации подземных вод и миграции загрязняющих компонентов. Полученные исходные данные должны обеспечивать калибровку используемых моделей.

4. Поставленные задачи рекомендуется решить путем реализации исследований по следующим направлениям:

- инженерно-геологические, инженерно-гидрогеологические, геофизические и экологические изыскания по направлению линии разгрузки потока подземных вод от объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов (ООИ РАО) до р. Енисей;
- многофакторный анализ результатов изысканий и моделирование процессов миграции радионуклидов с целью оценки негативного воздействия ООИ РАО на наблюдаемые компоненты.

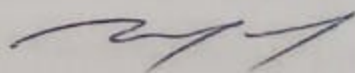


- сбор, анализ материалов по изученности факторов потенциального воздействия ООИ РАО на окружающую среду;
- определение возраста вод по линии разгрузки потока подземных вод в р. Енисей;
- определение сорбционных свойств массива на участке распространения загрязненных подземных вод от ООИ РАО до зоны разгрузки потока подземных вод в р. Енисей;
- изучение сопротивления русловых отложений реки Енисей в месте вероятной разгрузки загрязненных подземных вод;
- получение воднобалансовых характеристик, необходимых для создания численной математической модели процессов фильтрации загрязненных подземных вод и миграции техногенных радионуклидов;
- изучение гидрологических характеристик и режима поверхностных вод реки Шумиха с целью оценки изменчивости стока, для обоснования сброса и разбавления дренажных вод.

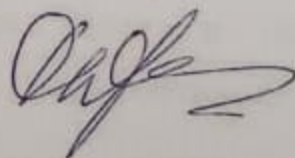
5. Представить отчетные материалы по результатам разведочных работ и опытно-промышленной эксплуатации полигона захоронения с обоснованием его дальнейшего промышленного освоения в установленном порядке на государственную экспертизу.

6. В составе отчета по результатам разведочных работ предоставить материалы, перечисленные в п. 3.1 заключения государственной экспертизы.

**Члены Консультационного Совета:**



**О.И. Гуськов**



**Л.З. Быховский**



**СПРАВКА**  
**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УЧАСТКА ЕНИСЕЙСКОГО (НИЖНЕКАНСКИЙ МАССИВ) И**  
**ОБОСНОВАНИИ ЕГО ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ**  
**ОТХОДОВ**

Геологическое доизучение участка недр, предназначенного для строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов, выполнено в рамках реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 13 июля 2007 года № 444 и измененной постановлениями Правительства от 24 декабря 2008 года № 997, от 31 декабря 2009 года № 1192, от 12 ноября 2010 года № 890, , 2 августа 2011 года № 643, от 16 октября 2013 года № 926, от 7 июля 2014 года № 626, от 25 марта 2015 года № 274, а также в соответствии с лицензией КРР 15864 ЗП на право пользования недрами, не связанное с добычей полезных ископаемых, выданной ФГУП «НО РАО».

В п. 33 федеральной целевой программы (ФЦП) предусмотрена «Подготовка проектной документации по строительству объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)». Участок «Енисейский» был выбран из нескольких альтернативных участков в результате предварительных научно-исследовательских работ и инженерных изысканий, выполненных в 2000-2008 гг. различными геологическими, научными и проектно-изыскательскими организациями.

Поисково-оценочные работы выполнялись в 2009-2011 гг. по лицензии на геологическое изучение недр КРР 01696 ТП, выданной ФГУП «Горно-химический комбинат». Генеральным подрядчиком работ было выбрано ОАО "Красноярская горно-геологическая компания", в качестве субподрядчиков выступали научные и производственные организации. Работы проводились в две стадии, поисковую и оценочную, результаты каждой из которых проходили государственную экспертизу в ГКЗ Роснедра и получили положительную оценку. Участок был признан пригодным для окончательной изоляции РАО с интервалом захоронения 450...475 м ( $\pm 0...-25$  м БС). В протоколе заседания от 13.04.2012 № 2755-пс ГКЗ Роснедра было записано:

«...2.1.1. Подтвердить что по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям участок «Енисейский» является пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-475 м.



2.1.2. Признать возможным проведение строительства и опытно-промышленной эксплуатации первой очереди захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский», объемом до 110,7 тыс. м<sup>3</sup> на двух эксплуатационных горизонтах – 450 и 475 м, в течение 5 лет с момента начала эксплуатации.

2.2. В соответствии с «Методическими рекомендациями по обоснования выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых», отнести участок «Енисейский» по степени изученности к группе «оцененных».

Далее, в упомянутом протоколе ГКЗ Роснедра были даны рекомендации для выполнения по последующей, разведочной, стадии работ, большая часть которых была реализована при проведении инженерных изысканий на участке и вошла в представляемый отчет.

В связи с высокими положительными характеристиками горно-геологических условий Енисейского участка, а также руководствуясь необходимостью окончательной изоляции возможно большего количества РАО, организации ГК «Росатом» приняли решение об увеличении мощности интервала захоронения с 25 до 75 м. Именно на оценку этого интервала были ориентированы программы инженерных изысканий, которые проводились под руководством и при непосредственной участии ОАО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии (ОАО «ВНИПИпромтехнологии») на основе договора с государственным заказчиком – ФГУП «НО РАО». Проектно-изыскательские работы начаты в 2013 году.

В соответствии с Техническим (геологическим) заданием, согласованным департаментом по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу, целевым назначением работ является комплексная геологическая, гидрогеологическая, и инженерно-геологическая оценка интервала захоронения радиоактивных отходов на отметках +5 – -70 м БС на участке «Енисейский» Нижне-Канского массива для обоснования строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов.

Основными характеристиками, обосновывающими возможность расширения интервала захоронения от абсолютных отметок  $\pm 0$  – -25 м до отметок +5 – -70 м БС являются показатели физико-механических, теплофизических и фильтрационных свойств пород, изучаемых на основе использования материалов предшествующих геологоразведочных работ, а также материалов инженерных изысканий, выполненных на предпроектной и проектной стадиях.

Участок Енисейский находится в пределах Сибирского федерального округа, в центральной части Красноярского края, в закрытом административном территориальном образовании (ЗАТО) г. Железногорска, а также в пределах площади, определенной в лицензии на право пользования недрами КРР 15864 вид ЗП.



В физико-географическом отношении район работ расположен в пределах юго-западной оконечности Восточно-Сибирского плоскогорья, ограниченного с запада долиной Енисея. Восточно-Сибирское плоскогорье в пределах исследуемой площади представлено Атамановским хребтом Енисейского кряжа, для которого характерен низко- и среднегорный рельеф с абсолютными отметками от 140 до 573 м. Территория исследований находится в зоне умеренных широт и характеризуется резко континентальным климатом с продолжительной суровой зимой и коротким жарким летом. Среднегодовая температура составляет  $-0,1^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков составляет 300...500 мм, их распределение по сезонам года очень неравномерно. Речная сеть исследуемой территории принадлежит к бассейну реки Енисей. Удаление р. Енисей от участка составляет 4 км. Енисей является региональным базисом дренирования для всей исследуемой территории.

Ширина Енисея в пределах исследуемой территории изменяется от 300 до 1200 м, глубина колеблется от 2,7 до 8,0 м. Скорость течения составляет 1,4-1,8 м/с, расход в створе площадки около  $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ . Выше Красноярска река зарегулирована плотиной Красноярской ГЭС (НПУ 243 м БС). Наиболее крупным правым притоком Енисея в пределах участка Енисейского является небольшая речка Шумиха, имеющая протяженность около 10,5 км и непосредственно дренирующая наиболее значительную часть изучаемого участка. Расчетная величина среднегодового расхода приближено составляет  $0,04 \text{ м}^3/\text{с}$ .

В геолого-структурном отношении участок работ расположен вблизи сочленения двух крупнейших платформенных структур Азии – Сибирской платформы и эпигерцинской Западно-Сибирской плиты. Структурный шов между этими платформами проходит всего в 5-6 км западнее участка работ. Сибирская платформа в пределах участка работ представлена своим юго-западным выступом складчатого фундамента – Южным (Ангарио-Канским) выступом Енисейского кряжа, консолидация которого произошла в байкальскую эпоху. Именно с архейскими и протерозойскими, магматическими и метаморфическими кристаллическими образованиями байкалит Южного выступа Енисейского кряжа связываются перспективы этой территории для окончательного захоронения РАО. Рудные полезные ископаемые и месторождения подземных вод в пределах участка отсутствуют.

В региональном гидрогеологическом отношении участок расположен в пределах Ангарио-Канского гидрогеологического массива Енисейской складчатой области, характеризующегося преимущественным распространением трещинных и трещинно-жильных вод. Трещинно-грунтовые воды распространены преимущественно до глубины 60 – 100 м, и трещинно-жильные воды, приуроченные к зонам тектонических нарушений



проникают на глубину в несколько сотен метров. По своим прочностным характеристикам докембрийские скальные породы представляют надежную литогенную основу для любых видов наземного и подземного строительства. Опасные экзогенные процессы, негативно влияющие на строительные объекты, на участке неизвестны.

По данным актуализированных карт ОСР-97 2012 г. объект ПГЗРО отнесен к зоне с балльностью 7,3. Расчетная сейсмичность площадок вентиляционного, технологического и вспомогательного стволов по данным проведенных инженерно-геологических изысканий оценивается как для объектов повышенной ответственности и особо ответственных, с учетом наличия грунтов III категории по сейсмическим свойствам для ПЗ (проектное землетрясение) – 7 баллов, для МРЗ (максимальное расчетное землетрясение) – 8 баллов.

Для архейских скальных пород, распространенных в районе, имеется положительный опыт строительства и эксплуатации подземных сооружений. 60 лет назад в архейских гнейсах атамановской и исаевской серий были построены и успешно эксплуатируются подземные сооружения Горно-химического комбината. В подземных выработках внутри скального массива был размещен и успешно эксплуатировался на протяжении полувека огромный транспортно-промышленный комплекс, включающий три атомных реактора, изотопно-химический завод, подъездные пути, склады сырья и продукции, а также выемки для размещения ОЯТ. Протяженность транспортных тоннелей внутри горы измеряется многими километрами. Камеры для реакторов имеют гигантские размеры, их высота превышает 70 м. За все время эксплуатации в выработках внутри «горы» не отмечались горные удары, сдвигения или смещения пород, гравитационные процессы, природная загазованность и другие опасные процессы и явления.

По итогам оценочных работ 2010-2011 гг. ГКЗ Роснедра согласовало захоронение 108 000 м<sup>3</sup> долгоживущих кондиционированных РАО, а также 2,7 тыс. м<sup>3</sup> с остеклованными ВАО с высоким тепловыделением, всего – 110 700 м<sup>3</sup> на двух горизонтах – 450 и 475 м ( $\pm 0$  - -25 м БС).

В соответствии с горно-геологическими возможностями и первоочередными потребностями увеличение объемов захораниваемых РАО составляет:

- по пеналам с ВАО первого класса с 2,7 тыс. м<sup>3</sup> до 4,5 тыс. м<sup>3</sup> (+1,8 тыс. м<sup>3</sup>), которые будут размещаться в скважинах, соединяющих верхний и нижний горизонты подземного сооружения;
- по контейнерам с РАО 2 класса со 110,7 тыс. м<sup>3</sup> до 155 тыс. м<sup>3</sup> (+44,3 тыс. м<sup>3</sup>), которые будут размещаться в выработках захоронения на обоих горизонтах.



Расчеты, выполненные в ОАО «ВНИПИпромтехнологии» показали, что размещение дополнительного объема контейнеров с ВАО в скважинах потребует увеличения расстояния между горизонтами в три раза – до 75 м.

На данном этапе изучения Енисейского участка была продолжена оценочная стадия работ, но она была выполнена применительно к новым инженерно-техническим проектным решениям создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов.

Геологическое доизучение комплексировалось с одновременным проведением инженерных изысканий, направленных на изучение семидесятипятиметрового целевого интервала. При этом основные объемы полевых, лабораторных работ выполнялись по программам инженерных изысканий, а оценка интервала по согласованию с Департаментом по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу (Центрсибнедра) проводилась камеральным путем с использованием всех полученных изыскательских материалов и данных.

Применительно к изучаемой проблеме окончательной изоляции РАО результаты работ оценочной стадии должны позволить решить следующие задачи:

- определение типа пункта подземного захоронения РАО по способу строительства с целью безопасного захоронения отходов в заданном количестве на минимально возможной площади изучаемого участка;
- определение возможности размещения РАО в выбранный участок недр в необходимом количестве;
- определение возможности размещения всех наземных и подземных сооружений объекта;
- выполнение предварительных расчетов для условной схемы намечаемого объекта;
- предварительная оценка совместимости отходов с подземными водами и породами целевых горизонтов;
- принципиальная оценка необходимости и возможности подготовки отходов перед захоронением;
- предварительное обоснование схемы размещения вскрывающих выработок-входов, основных и вспомогательных сооружений объекта;
- предварительное обоснование расчетных и максимально допустимых величин горного давления, притоков воды в выработки;
- предварительное обоснование размеров горного отвода и санитарно-защитных зон;
- обоснование отсутствия негативного влияния намечаемого объекта на окружающую среду в недопустимых пределах, при реализации, в случае необходимости, соответствующих мероприятий.



31

Часть исследований участка Енисейского, имеющих отношение к рассматриваемой проблеме, была реализована по отдельным программам инженерных изысканий. К этим работам относятся инженерно-геодезические изыскания, в результате которых была проведена топографическая съемка участка, а также предпроектные инженерно-экологические изыскания.

Учитывая достаточно большой объем различных работ, выполненных на предшествующих этапах работ, а также наличие положительного решения ГКЗ Роснедра по оценочной стадии 2010-2011 гг. (протокол от 13.04.2012 № 2755-пс), авторы сформулировали следующие принципы проведения работ по оценке расширения целевого интервала от отметок 0–(-25) м до отметок +5 – (-75) м.

а) В связи с большой глубиной залегания целевого горизонта (450-525 м) и большой глубиной исследований (700 м) в качестве основных материалов, положенных в основу оценки, были приняты результаты, полученные при бурении десяти поисково-оценочных скважин с увязанными с ними четырьмя гидрогеологическими скважинами в двух кустах и шести изыскательских скважин. Во всех упомянутых выработках был выполнен полный комплекс геофизических каротажных работ, а также поинтервальные опытно-фильтрационные работы через 10-50 м. Эти работы позволяют выполнить изучение геологического строения, физико-механических свойств, проницаемости горных пород в образцах или в массиве, а также исследования химического состава подземных вод. Места заложения скважин были определены ОАО «ВНИПИпромтехнологии» с участием специалистов ФГУП «ГХК» и ОАО «Красноярскгеология», исходя из проектного плана размещения первоочередных подземных сооружений.

б) Главными сопутствующими видами были выбраны площадные геофизические работы: магнитометрическая съемка, вертикальное электрическое зондирование и сейсморазведка МОГТ 3D. Последняя была выполнена на основе субподряда ведущей специализированной геологической организацией Среднесибирского региона – ОАО «Енисейгеофизика».

В 2013 г. на площадке размещения наземных и подземных сооружений ПГЗРО Южной геофизической экспедиции ОАО «Красноярскгеология» при участии профессора Российского государственного геологоразведочного университета (РГГРУ), доктора ф.-м.н. А.В. Петрова была проведена площадная крупномасштабная магнитометрическая съемка по сети 10×5 м для уточнения геолого-структурных особенностей участка, существенно расширившая имеющиеся представления о геологической структуре участка.

в) Сопутствующими дополнительными видами оценочных геологоразведочных работ были специальные исследования по изучению напряженного состояния пород, их сорбционной емкости и теплофизических свойств, определению абсолютного возраста



подземных вод, выполнявшиеся ведущими в данных направлениях российскими организациями и специалистами.

К оценочным работам также мы относим разнообразные исследования геологической среды, выполненные при инженерных изысканиях объекта в 2013-2014 гг. в том числе:

- исследования и изыскания по определению исходной сейсмичности участка, в том числе сейсмическое районирование и микросейсморайонирование, а также определение возможного расположения разломов по данным космоснимков;
- GPS-наблюдения за современными движениями земной коры.

При проведении оценочной стадии работ в 2010-2011 гг. было выявлено, что в геологическом строении участка Енисейского принимают участие мигматизированные гнейсы и кристаллические сланцы атамановской серии канского метаморфического комплекса архея, два комплекса секущих даек основного состава позднеархейского и раннепротерозойского возрастов и современные элювиально-делювиальные отложения. Большой комплекс исследований и изысканий, выполненный в 2013-2014 гг. не внес никаких существенных изменений в представления о геологическом строении участка, сформированные в 2010-2011 гг.

Претерпевшие высшую степень регионального метаморфизма породы толщи вместе с дайками долеритов обладали высокими прочностными свойствами. Первоначально развитая система трещин отдельности была незначительной. Однако толща от начала её консолидации до рифейского времени неоднократно вовлекалась в режимы разнонаправленных тектонических подвижек и, прежде всего, вдоль сети подновлявшихся трассируемых дайками второго этапа разрывных нарушений. Сеть диагональных трещин характеризуется сопутствующим внедрением даек второго этапа, секущих дайки первого этапа. Внедрение комплекса даек второго этапа сопровождалось проявлениями маломощных зон трещиноватости с последующим их цементированием продуктами нижнеканской гранитизации.

В геологическом отношении целевой интервал слагают очень плотные, слабо трещиноватые мигматизированные, иногда окварцованные биотитовые плагиогнейсы, биотит-кордиеритовые и гранат-гиперстеновые гнейсы и кристаллические сланцы атамановской метасерии с реликтовой полосчатостью, подчеркивающей моноклинално полого залегающее на юго-запад крыло антиклинальной складки. В количественном отношении плагиогнейсы составляют 25%, кордиеритсодержащие разности 56% и гранат- и пироксенсодержащие разности 19%.



Гнейсовая толща блока прорвана дайками основного состава первого этапа внедрения мощностью от первых до первых десятков метров (секущие и послойные метадолериты) и второго этапа мощностью от 0,7 до 2,6 м (секущие трахидолериты, габбро-диабазы, диабазовые порфириты). Трещиноватость даек низкая (Мтр-2-5), увеличиваясь до 6-10 на участках внедрения даек второго этапа.

На оценочной стадии работ 2013-2015 гг. не было выявлено каких-либо существенных геологических отличий от результатов оценочной стадии работ, проведенных в 2010-2011 гг. По структурно-геологическим особенностям, вещественному (минеральному, химическому и радиологическому) составу интервалы 0 – (-25) м и +5 – (-70) м БС практически не отличаются друг от друга, что дает все основания рекомендовать интервал +5 – (-70) м участка Енисейского для глубинного захоронения радиоактивных отходов.

По условиям обводненности, условиям распространения и движения подземных вод на оцениваемом участке можно выделить следующие гидрогеологические подразделения:

- а) локально обводненный горизонт четвертичных покровных отложений;
- б) относительно водоносную зону экзогенной трещиноватости раннеархейских пород;
- в) водонепроницаемую зону раннеархейских пород.

Зоны тектонических нарушений полностью «залечены» в процессе метаморфизма и не имеют явных отличий фильтрационных свойств по сравнению с окружающими породами. В связи с этим у нас нет оснований для выделения отдельного гидрогеологического подразделения связанного с зонами дизъюнктивных нарушений.

Разделение пород по водопроницаемости принято согласно [ГОСТ 25100-2011]. Выделение гидрогеологических подразделений принято в соответствии со схематической геологической картой.

*Локально обводненный горизонт четвертичных покровных отложений* распространен с поверхности до глубины 31,3 м, выдержанного по всей площади горизонта не образует. Постоянно обводнен в долинах ручьев и логов. Водоносный горизонт существенного влияния на условия строительства горных выработок не окажет, так как будет сдренирован на первых этапах строительства.

*Относительно водоносная зона экзогенной трещиноватости раннеархейских пород* выделяется в верхней части разреза до глубины 50-100 м по геологическим признакам, фиксирующим наличие экзогенной трещиноватости. Гидрогеологическое подразделение выделяется традиционно, и приурочено к зоне распространения открытой экзогенной и эндогенной трещиноватости всех типов пород, определенной по керну



скважин. Четких критериев, по которым можно было бы провести границу с низзалегаящими подразделениями, не имеет. Содержит трещинные и трещинно-жильные воды. Глубина залегания уровня 2,3-24,2 м. В целом фильтрационное поле представляется в виде незначительных по мощности относительно водопроницаемых зон субгоризонтального направления, образованных за счет микротрещиноватости, возникшей в результате внутреннего напряженного состояния массива. Каких либо маркирующих проявлений, позволяющих определить границы таких зон, на данном этапе исследований не выявлено.

Коэффициенты фильтрации зоны трещиноватости определенные по результатам опытно-фильтрационных работ изменяются от 0,0004 до 0,11 м/сут, составляя в среднем 0,011 м/сут. Во всех случаях коэффициенты фильтрации не превышают значений, нормированных ГОСТ 25100-2011 для слабоводопроницаемых пород (0,3 м/сут). В выделенной зоне распространены гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 0,27-0,5 г/дм<sup>3</sup>.

Водонепроницаемая зона раннеархейских пород начинается с глубины 50-100 м. Четкой границы с вышелегающей относительно водоносной зоной не имеет. К этому гидрогеологическому подразделению относятся подземные воды во всех разновидностях пород, распространенных на участке, т.к. их водопроницаемость, по-видимому, не имеет прямой связи с петрографической принадлежностью. В водонепроницаемой зоне ограничено распространены трещинно-жильные и поровые (микropоровые) подземные воды. По средним значениям проницаемости хорошо заметна анизотропия проницаемости: проницаемость параллельно полосчатости пород выше, чем проницаемость перпендикулярно к полосчатости.

Совместная обработка материалов предшествующего геологического изучения и материалов изыскательских работ последних лет, в целом, не меняет общих представлений о геологическом строении, гидрогеологических условиях и общих представлений о природной обстановке выбранного участка.

Для определения долгосрочной безопасности проектируемого объекта на окружающую природную среду разработаны численные модели с применением сертифицированных программных сред и выполнены прогнозные оценки:

- составлена объемная инженерно-геологическая модель;
- составлена объемная гидрогеологическая модель;
- выполнены прогнозные оценки миграции радионуклидов в водной и газовой фазах на различных этапах жизненного цикла ПГЗРО;
- выполнена оценка долговременного радиационного воздействия ПГЗРО на население за счет миграции радионуклидов в водной фазе;



- выполнена оценка безопасности потенциального теплового воздействия на экзосферу в долгосрочной перспективе после закрытия ПГЗРО;
- выполнена оценка долговременной безопасности ПГЗРО с учетом влияния температуры, сейсмических и геодинамических воздействий на напряженно-деформированное состояние массива и защитных барьеров объекта;
- выполнена оценка долговременного воздействия на экосистему на участке потенциального воздействия объекта на окружающую среду;

В целом изученность участка «Енисейский позволяет сделать следующие выводы.

Территория, в пределах которой проектируется размещение ПЗРО, не имеет законодательных (в том числе природоохранных) запрещений на строительство подобных объектов.

Активные разломы или активные геодинамических зоны в процессе работ не выявлены.

Сейсмичность площадок предназначенных для строительства по консервативным оценкам не превышает 7,3 баллов по шкале MSK-64.

На территории нет действующих вулканов, и проявлений активного грязевого вулканизма.

Предприятие, в пределах производственной зоны которого проектируется ПГЗРО, имеет богатый опыт обеспечения безопасного транспортирования РАО.

Размеры площадки ПЗРО полностью обеспечивают размещение всех необходимых сооружений, предназначенных для обращения с РАО.

Вмещающие породы представлены потенциально пригодными типами – высокопрочными гнейсами с секущими их дайковыми и жильными интрузивными образованиями, образующих с гнейсами единое массивное тело, залегающее вблизи поверхности, и имеющее низкую трещиноватость.

В пределах рабочей толщи не содержится линз рассолов, пластов проницаемых пород;

Массив горных пород с глубины 80-200 м представлен водонепроницаемыми породами. Выше проектируемого ПГЗРО водоносных подразделений не выявлено. Линзы подземных вод или трещиноватые зоны, по которым возможны водопритоки в горные выработки и их затопление в процессе работ не выявлены.

Прогнозные расчеты показывают допустимость воздействия на окружающую природную среду, как при строительстве, так и при эксплуатации и после вывода из эксплуатации. Природные барьеры препятствуют недопустимому воздействию, в том числе и при аварийных ситуациях.

К числу вопросов, нерешенных на оценочной стадии, следует отнести:



- отсутствие геологического картирования участка масштаба 1:10 000;
- задача водоснабжения объекта в период строительства и эксплуатации;
- мало достоверные результаты по абсолютному возрасту подземных вод;
- оценка взаимодействия подземного потока в архейских породах с Енисеем и ручьем Байкал, стекающим в сторону Железногорска.

Все эти нерешенные вопросы рекомендуется решить при изысканиях для стадии «рабочий проект», что будет соответствовать разведочной стадии геологоразведочных работ.

Изученность участка «Енисейского» предлагается считать соответствующей оценочной стадии, а участок «Енисейский» предлагается отнести по степени изученности к группе оцененных.

В целом геологический массив участка Енисейский в интервале глубин 450-525 м (абс. отметки +5 – (-70) м БС) и в пределах контура периметра проектируемого объекта подземного захоронения радиоактивных отходов можно считать соответствующим международным требованиям МАГАТЭ, национальным требованиям НП-055-14, а также Методическим рекомендациям по обоснованию выбора участков недр МПР РФ для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых и, соответственно, пригодным для строительства и опытной эксплуатации объекта окончательной изоляции РАО в составе подземной лаборатории и первоочередного объекта захоронения.

Результаты работ рассмотрены научно-техническими советами ОАО «Красноярскгеология» (протокол от 05.08.2015 г. № 20), ФГУП «НО РАО» (протокол от 17.09.2015 г. № 319-41Р/35-Пр), Департамента по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу (протокол от 28.09.2015 № 02/03-1955).

С учетом решений этих коллегиальных органов участок Енисейский можно считать соответствующим международным требованиям МАГАТЭ, национальным требованиям НП-055-04, а также Методическим рекомендациям по обоснованию выбора участков недр МПР РФ для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых и, соответственно, пригодным для строительства и опытной эксплуатации объекта окончательной изоляции РАО в составе подземной лаборатории и первоочередного объекта захоронения..

Гл. гидрогеолог Геозкологической партии  
ОАО «Красноярская горно-геологическая  
компания»



В.А. Караулов



Экспертное заключение по отчету  
 «Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка  
 «Енисейский» для обоснования расширения интервала захоронения  
 радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС) объектов  
 окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край,  
 Нижне-Канский массив)»

(Разделы: гидрогеологические и инженерно-геологические условия, оценка воздействия  
 на окружающую среду)

Авторы: Караулов В.А., Заблоцкий К.А. и др.

1. На государственную экспертизу представлены материалы комплексной геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической оценки интервала захоронения радиоактивных отходов (РАО) на отметках 450-525 м (+5 - -70 м БС) на участке «Енисейский» Нижне-Канского массива для обоснования строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов.

Участок «Енисейский» расположен в Сибирском федеральном округе, в Красноярском крае, в пределах промышленной территории ЗАТО г. Железногорск, на водоразделе рек Шумиха и Енисей.

Геологоразведочные работы на участке «Енисейский» выполняются в соответствии с ФЦП («Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.»), утвержденной постановлением Правительства РФ № 444 от 13.07.2007 г.<sup>1</sup>. ФЦП предусматривает «Подготовку проектной документации по строительству объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)». Первоочередной общий объем РАО составляет около 160 тыс. м<sup>3</sup>, (4,5 тыс. м<sup>3</sup> (нетто) (или 7500 пеналов) остеклованных высоко активных отходов (ВАО) и 155 тыс. м<sup>3</sup> (нетто) РАО класса 2) (кн. 1, стр.27).

Поисково-оценочные работы были проведены на участке «Енисейский» ранее. Они выполнялись ОАО «Красноярская горно-геологическая компания» (ОАО «Красноярскгеология») по заказу ФГУП «Горно-химический комбинат» (ФГУП «ГХК»). Основанием для их постановки явилось право пользования недрами участка «Енисейский» Нижне-Канского массива с целью геологического изучения и оценки пригодности для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, предоставлено ФГУП «ГХК» лицензией КРР № 01696 ТП, выданной Территориальным агентством по недропользованию по Красноярскому краю (Красноярскнедра) 26.12.2006 г. Временно выделенный участок недр, площадью 64,14 км<sup>2</sup>, имел статус геологического отвода, ограниченного глубиной до 700 м.

Дополнением № 2 от 28.07.2011 г. к указанной лицензии срок ее действия был продлен до 31.12.2015 г., а также установлены сроки окончания этапов проведения работ:

<sup>1</sup> С изменениями постановлениями Правительства № 997 от 24.12.2008 г., № 1192 от 31.12.2009 г., № 890 от 12.11.2010 г., № 643 от 2.08.2011 г., № 926 от 16.10.2013 г., № 626 от 7.07.2014 г., №274 от 25.03.2015 г.



- I этап (поисковые работы) во II квартале 2007 г.;
- II этап (оценочные работы) во II квартале 2011 г.;
- III этап (разведочные работы) во III квартале 2012 г.

Условия этого лицензионного соглашения в основном выполнялись, за исключением поведения работ III этапа (см. ниже).

Поиски на участке «Енисейский» были проведены в 2009-2010 гг. на площади 500 га. По их результатам был составлен геологический отчет: Озерский А.Ю., Заблоцкий К.А. и др. Геологические исследования (поисковая стадия) объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов на Нижне-Канском массиве (участок «Енисейский»). ОАО «Красноярскгеология». Красноярск, 2010, который был представлен на государственную геологическую экспертизу в ГКЗ Роснедра. Экспертиза (протокол № 2367пс-дсп от 17.12.2010 г.):

- подтвердила, что по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям блок 37 участка «Енисейский» является перспективным для дальнейшего изучения с целью обоснования его пригодности для захоронения радиоактивных отходов в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-550 м.;
- отнесла участок «Енисейский» по степени изученности к группе «выявленных».

Экспертиза рекомендовала недропользователю в ходе дальнейшего геологического изучения недр участка «Енисейский» с целью окончательной оценки его пригодности для захоронения радиоактивных отходов:

- выполнить геологическое картирование с целью наиболее полного изучения участка при помощи бурения глубоких скважин и ГИС...;
- установить водопроводящие зоны в пределах блока, их гидравлической связи, особенности внутреннего строения, скорости водного потока;
- уточнить водоприитоки в горные выработки;
- провести прогноз температурного воздействия радиоактивных отходов на геологическую среду;
- выполнить оценку воздействия объекта на окружающую среду;
- провести крупномасштабные геофизические исследования экономически эффективным комплексом методов...;
- выполнить сейсморазведку для детального сейсмического районирования массива;
- по результатам геологоразведочных работ представить обоснование выбора участка недр для строительства первоочередных объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов в установленном порядке на государственную экспертизу.

Эти рекомендации в основном были выполнены на оценочной стадии работ (см. ниже), хотя экспертиза материалов этой стадии исследований отметила ряд методических недостатков.

Оценочные работы на участке «Енисейский» были проведены в 2010-2011 гг. на площади 6,2 км<sup>2</sup>. Результаты исследований, изложенные в материалах: Озерский А.Ю., Заблоцкий К.А. и др. Геологические исследования (оценочная стадия) объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов на Нижне-Канском массиве участок «Енисейский». ОАО «Красноярскгеология». Красноярск, 2011 прошли государственную геологическую экспертизу в ГКЗ Роснедра. Экспертиза (протокол № 2755-пс от 13.04.2012 г.):



- подтвердила, что по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям участок «Енисейский» является пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-475 м.;
- признала возможным проведение строительства и опытно-промышленной эксплуатации первой очереди захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский», объемом до 110,7 тыс. м<sup>3</sup> на двух эксплуатационных горизонтах – 450 и 475 м<sup>2</sup>, в течение 5 лет с момента начала эксплуатации;
- в соответствии с «Методическими рекомендациями по обоснования выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых» отнесла участок «Енисейский» по степени изученности к группе «оцененных».

Экспертиза рекомендовала недропользователю:

- обратиться в установленном порядке в Красноярскнедра с мотивированной просьбой об оформлении лицензии на право пользования недрами участка «Енисейский» для строительства и эксплуатации пункта захоронения радиоактивных отходов, предусмотрев в условиях лицензионного соглашения этап разведочных работ и опытно-промышленную эксплуатацию первой очереди;
- составить технический проект пункта глубинного захоронения первой очереди и утвердить его в установленном порядке;
- выполнить разведочные работы на площади участка «Енисейский», в ходе которых провести:
  - геологическое картирование и составление карты поверхности участка с целью наиболее точного выявления тектонических нарушений;
  - более детальную высокоточную цифровую магнитную съемку... на участке строительства, с последующей глубокой обработкой и созданием объемной модели массива;
  - гидрометрические работы на р. Шумиха и оценку изменчивости стока, с целью обоснования сброса и разбавления дренажных вод;
  - поиски подземных вод для технического водоснабжения предприятия;
- в период строительства и проведения опытно-эксплуатационных работ провести исследования с целью уточнения следующих показателей:
  - геологическое строение массива и дизъюнктивная тектоника;
  - инженерно-геологические условия поверхности массива, обуславливающих строительство наземных сооружений;
  - гидрогеологические характеристики массива горных пород в плане и по глубине...;
  - изменение рН-Eh подземных вод по глубине;
  - изменение возраста подземных вод по глубине;
  - геотермический градиент в массиве горных пород;
  - коэффициенты... и скорости фильтрации подземных вод по зонам тектонических нарушений...;
  - объемы водопритоков по интервалам глубин;
  - исследование распределения и размеров трещин по глубине...;
  - петрографический состав горных пород;

<sup>2</sup> В отчете сообщается, что общий объем РАО (110,7 тыс. м<sup>3</sup>) и интервал для их размещения (450-475 м (±0 - -25 м БС)) были определены проектной организацией (ОАО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» (ОАО «ВНИПИпромтехнологии»)) в ходе выполнения оценочных работ (кн. 1, стр. 37).



- физико-механические и теплофизические характеристики горных пород...;
- параметры напряженно-деформированного состояния в массиве горных пород...;
- параметры зон трещиноватости и характеристика материалов-заполнителей трещин;
- сорбционно-миграционные характеристики пород и материалов-заполнителей трещин...;
- оптимальное расстояние между двумя горизонтами;
- характеристики захораниваемых кондиционированных долгоживущих радиоактивных отходов;
- (степень) влияния тепловыделения высокордиоактивных отходов на материал закладки, горные породы и подземные воды;
- разработать контейнеры для высокоактивных стекол ПО «Маяк», для долгоживущих радиоактивных отходов, а также транспортные контейнеры...;
- в случае выявления в процессе разведочных работ, строительства и опытно-промышленной эксплуатации существенного изменения или отклонения от установленных геологических, гидрогеологических условий, необходимо представить материалы на государственную экспертизу повторно;
- представить отчетные материалы по результатам разведочных работ и опытно-промышленной эксплуатации полигона захоронения с обоснованием его дальнейшей промышленного освоения в установленном порядке на государственную экспертизу.

Во Введении к рассматриваемому в экспертизе отчету сообщается, что «в упомянутом протоколе ГКЗ Роснедра были даны рекомендации для выполнения по (на?) последующей, разведочной, стадии работ, часть которых в основном была реализована при проведении инженерных изысканий на участке и вошла в настоящий отчет» (кн. 1, стр. 29).

Далее авторы сообщают, что после принятия Федерального закона № 190-ФЗ от 11.07.2011 г. «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», ФГУП «ГХК» с 2012 г. не выполняло работ по геологическому изучению недр участка, а в 2015 г. сдало лицензию КРР № 01696 ТП. В структуре Государственной корпорации (ГП) «Росатом» было создано ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (ФГУП «НО РАО»), которое распоряжением правительства Российской Федерации № 384-р от 20.03.2012 г. было назначено национальным оператором, уполномоченным осуществлять деятельность по обращению с РАО.

Для осуществления функций государственного заказчика всех работ по созданию пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) на участке «Енисейский» ФГУП «НО РАО» получило в Федеральном агентстве по недропользованию (Роснедра) лицензию КРР 15864 ЗП от 01.04.2015 г. на срок до 01.04.2020 г. (прил. 1, стр. 4).

Эта лицензия выдана с тем же целевым назначением, что и лицензия КРР № 01696 ТП, которая предоставлялась ранее ФГУП «ГХК», т.е. «геологическое изучение и оценка пригодности Енисейского участка для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых». Согласно Условиям пользования недрами участка «Енисейский», площадью 78,0 км<sup>2</sup>:

- имеет статус геологического отвода, ограниченного по глубине подошвой архейских отложений (п. 2.2);



- владелец лицензии обязан... «до начала работ разработать и утвердить *проектную документацию на геологическое изучение участка недр*, предусматривающую этап опытно-промышленного захоронения радиоактивных отходов в выбранный *пласт-коллектор архейских отложений*, получив необходимые экспертизы и согласования (п. 3.2.1).

Указанное в этой лицензии целевое назначение и сведения, содержащиеся в Условиях пользования недрами, находятся в определенном противоречии с результатами и рекомендациями экспертизы ГКЗ Роснедра (протокол № 2755-пс от 13.04.2012 г.), где:

- утверждается, что на участке «Енисейский» целевой интервал глубин 450-475 м (два эксплуатационных горизонта в архейских гнейсах) пригоден для глубинного захоронения радиоактивных отходов; следовательно, он по определению не может являться «*пластом-коллектором*»;
- рекомендуется оформить лицензию на право пользования недрами участка «Енисейский» для *строительства и эксплуатации* пункта захоронения радиоактивных отходов; не вполне ясно, однако, каким должен быть статус участка при таком целевом назначении лицензии;
- рекомендуется составить и утвердить *технический проект* пункта глубинного захоронения первой очереди, но не *проект геологического изучения* участка недр.

Отмеченные моменты требуют соответствующих пояснений.

Опытно-промышленная эксплуатация участка «Енисейский» до настоящего времени не проводится<sup>3</sup>. Обусловлено это тем, что в связи с большим количеством накопленных РАО, в 2012 г. руководство ГП «Росатом» приняло решение оценить возможности расширения подземного хранилища до первоначально обозначенных объемов (160 тыс. м<sup>3</sup>, см. выше) (кн. 1, стр. 46)<sup>4</sup>.

Согласно расчетам ОАО «ВНИПИпромтехнологии» размещение дополнительного объема контейнеров с ВАО в скважинах требует увеличения расстояния между горизонтами в три раза – до 75 м. Исходя из этого, а также из результатов геологоразведочных работ, был выбран интервал захоронения, расположенный на абсолютных отметках +5 – -70 м.

Естественно, что для оценки возможности такого расширения подземного хранилища требуется продолжение оценочной стадии работ (т.е. проведение доизучения и соответствующей государственной экспертизы в ФБУ ГКЗ). Поэтому постановка работ этого этапа представляется обоснованной.

2. Работы по геологическому доизучению участка «Енисейский» проводились одновременно с инженерными изысканиями. Основные объемы полевых, лабораторных работ выполнялись по программам инженерных изысканий, а оценка указанного интервала, по согласованию с Департаментом по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу (Центрсибнедра), проводилась камеральным путем с использованием всех полученных изыскательских материалов и данных предыдущих геологоразведочных работ.

<sup>3</sup> Авторы утверждают, что «в 2015 г. истекло более половины пятилетнего срока, отведенного для опытной эксплуатации решением ГКЗ Роснедра (кн. 1, стр. 29). Это неправильно. Согласно протоколу ГКЗ Роснедра № 2755-пс от 13.04.2012, пятилетний срок, отведенный для опытно-промышленной эксплуатации, исчисляется с момента ее начала.

<sup>4</sup> Ссылки на соответствующие документы в представленных материалах нет.



Проектно-изыскательские работы на участке «Енисейский» были начаты в 2013 г. Они проводились под руководством и при непосредственном участии ОАО «ВНИПИпромтехнологии» по договору с государственным заказчиком ФГУП «НО РАО». Был выполнен большой комплекс изысканий, из которых, как считают авторы (кн. 1, стр. 30), имели отношение к изучению недр и вопросам недропользования следующие работы:

- инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания под шахтные стволы (технологический и вспомогательный, вентиляционный);
- инженерно-геодезические изыскания под наземные площадки ПГЗРО и трассы коммуникаций;
- инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- мониторинг гидрогеологических условий и исследование керн скважин;
- инженерно-экологические изыскания по площадкам проектируемых наземных объектов ПГЗРО;
- геофизические изыскания и исследования, в т.ч.:
  - площадная магнитная съемка (уточнение геолого-структурных особенностей участка) и инженерно-геофизические изыскания;
  - сейсмические исследования и изыскания (в т.ч. определение исходной сейсмичности участка, сейсмическое районирование, микросейсмическое районирование, определение динамических характеристик в местах сооружения наземных объектов), определение возможного расположения разломов по данным космоснимков;
  - цикл GPS-наблюдений за геодинамическими процессами (современными движениями земной коры).

По результатам этих работ была подготовлена проектная документация по строительству объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив) (Москва, 2013) и рассматриваемый отчет.

3. Геологическое доизучение участка «Енисейский» проводилось ОАО «Красноярскгеология» (а также др. организациями) на основании Технического (геологического) задания (ТЗ), выданного ФГУП «НО РАО» по согласованию с Центрсибнедра в 2015 г.<sup>5</sup>

Согласно ТЗ:

- целевым назначением работ являлась «комплексной геологическая, гидрогеологическая и инженерно-геологическая оценка интервала захоронения радиоактивных отходов на отметках 450-525 м (+5 - -70 м БС) на участке «Енисейский» Нижне-Канского массива для обоснования строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов»;
- «основными характеристиками, обосновывающими возможность расширения интервала захоронения от абсолютных отметок  $\pm 0$  - -25 м до отметок +5 - -70 м БС..., являются показатели физико-механических, теплофизических, геомиграционных и фильтрационных свойств пород, изучаемые на основе использования материалов предыдущих геологоразведочных работ, а также материалов инженерных изысканий, выполненных на предпроектной и проектной стадиях»;
- основные геологические задачи:

<sup>5</sup> Точная дата не указана (кн. 1, стр. 6).



- «уточнение гидрогеологических элементов массива горных пород и целевого интервала, количественная оценка их проницаемости, оценка водности дизъюнктивных нарушений и массивных пород, выявление преобладающих направлений движения подземных вод в массиве, выявление химического состава и возраста подземных вод и особенностей его формирования, предварительный расчет водопритоков в горные выработки при их строительстве;
- уточнение физико-механических, теплофизических и деформационных свойств преобладающих литолого-петрографических разностей пород в массиве в целом и целевом интервале, выделение инженерно-геологических элементов геологической среды, определение сорбционных свойств горных пород в зонах экзогенной трещиноватости, дробления, расщепления, кливажа и т.п., оценка коэффициентов гидравлической дисперсии в зонах тектонических нарушений;
- формирование выводов о целесообразности строительства подземного сооружения в пределах расширенного целевого интервала 450-525 (+5 - -70 м БС) для окончательной изоляции радиоактивных отходов и определение задач для разведочного этапа комплексных геологических исследований».
- основные методы решения геологических задач:
  - «сбор, анализ, интерпретация фондовых и литературных данных;
  - систематизация первичных фактических материалов изученных компонентов геологической среды, формирование баз данных с применением программы Micromine;
  - расчеты геофильтрационных параметров, в т.ч. с применением методов математического моделирования;
  - выявление и описание закономерностей формирования химического и изотопного состава подземных вод, а также их абсолютного возраста;
  - проведение режимных наблюдений. Выявление и описание закономерностей режима подземных вод;
  - цифровое моделирование фильтрации и миграции загрязняющих веществ от объекта к областям разгрузки подземных вод;
  - выделение инженерно-геологических элементов или расчетных грунтовых элементов, определение расчетных и нормативных показателей физико-механических и деформационных свойств пород (грунтов);
  - оценка геохимических условий массива в целом и расширенного целевого интервала 450-525 м (+5 - -70 БС);
  - составление колонок скважин, геологических и геолого-гидрогеологических разрезов;
  - уточнение геологического строения участка на основе использования материалов крупномасштабной съемки 10x5 м с выделением блоково-купольных элементов и линейных структур;
  - составление карт и схем геологического содержания: геологической, тектонической, геоморфологической, четвертичных отложений, ландшафтной (ландшафтно-геохимической), радиационной (мощности экспозиционной дозы), гидрогеологической, инженерно-геологической, гидрохимической;
  - сопоставление геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и геохимических условий утвержденного ранее горизонта  $\pm 0$  - -25 м БС и расширенного горизонта +5 - -70 м;
  - составление геологического отчета;
  - государственная экспертиза отчетных материалов».
- ожидаемые результаты:



- «сопоставление отчета с оценкой массива горных пород в целом и целевого интервала 450-525 м (+5 - - 70 м БС) с позиций его пригодности для строительства подземного сооружения, предназначенного для глубинного захоронения радиоактивных отходов в соответствии с требованиями ФБУ ГКЗ, для представления на государственную экспертизу;
- рекомендации по дальнейшему изучению участка подземного строительства для разведочной стадии и оценке воздействия объекта на окружающую среду».
- сроки выполнения работ: II кв. 2015 г. – IV кв. 2015 г.

Анализ представленных результатов данного этапа работ позволяет считать, что задачи, поставленные в ТЗ, в целом выполнены. Об этом свидетельствуют результаты рассмотрения отчетных материалов на НТС ОАО «Красноярскгеология» (протокол № 20 от 5.08.2015 г. (кн. 2, стр. 195)), ФГУП «НО РАО» (протокол № 312 41Р/35-Пр от 17.09.2015 г. (кн. 2, стр. 200)) и секции ТПИ и подземных вод Центрсибнедра (протокол № 02/03-195 от 28.09.2015 г.)).

4. Отчетные материалы, по полноте и качеству в основном отвечают требованиям ГКЗ. Вместе с тем, по ним могут быть сделаны следующие замечания:

- отсутствует инженерно-геологическая карта, характеризующая условия наземного строительства<sup>6</sup>, и разрезы к ней;
- отсутствуют также ряд карт геологического содержания (геоморфологическая, радиационная, гидрохимическая), составление которых определено ТЗ;
- отсутствует тектоническая карта (схема);
- нет сведений о ряде гидрогеологических параметров (коэффициенты взаимосвязи поверхностных и подземных вод, коэффициенты вертикальной фильтрации расчетных слоев и абсолютные отметки их кровель и подошв), принятых при разработке и калибровке фильтрационной модели;
- нет фактических данных по стоку р. Большой Тель, которая была принята в качестве реки-аналога для расчета подземных вод в р. Шумиху;
- нет данных о расчетных балансах модели при решении различных задач;
- нет данных по содержанию трития в пробах воды, отбирившихся во время проведения односкважинного опыта.

Имеются и другие замечания по составу представленных материалов. Они рассмотрены в соответствующих разделах экспертного заключения.

Материалы представляются достоверными.

5. Участок «Енисейский» расположен в пределах юго-западного выступа складчатого фундамента Сибирской платформы (Ангаро-Канская часть Енисейского кряжа) на пологопадающем (от 5 до 20° С-В направления) крыле антиклинальной складки. Блок, к которому приурочен участок, ограничен разломами: Атаманским, Правобережным, Байкальским, Шумихинским (на западе, востоке, юго-западе, северо-востоке, соответственно). В его геологическом строении принимают участие:

- мигматизированные гнейсы и кристаллические сланцы атаманской серии каннского метаморфического комплекса архея, мощностью порядка 2200 м;
- два комплекса секущих даек основного состава позднеархейского и раннепротерозойского возраста;
- гранитоидные образования раннепротерозойского таракского комплекса;

<sup>6</sup> Имеется лишь инженерно-геологическая карта кровли целевого интервала (Граф. прил. 11).



- жильная фаза рифейских гранитоидов нижнеканского комплекса;
- современные элливиально-деллювиальные отложения.

По данным исследований участок «Енисейский» в основном сложен монолитными породами. Здесь, под маломощным чехлом четвертичных отложений, развиты лишь площадные коры физического и химического выветривания мощностью 40-50 м, характеризующиеся, как зоны открытой трещиноватости. Ниже по разрезу трещиноватость носит уже закрытый характер и постепенно уменьшается с глубиной (коэффициент трещиноватости уменьшается до 3-10).

Северо-восточная же часть участка «Енисейский» характеризуется иначе. Здесь установлены зоны дробления и тектонических разрывов с открытой трещиноватостью. К этим зонам приурочены линейные коры выветривания.

6. В гидрогеологическом отношении участок «Енисейский» расположен в пределах Ангаро-Канского гидрогеологического массива Енисейской складчатой области, характеризующегося преимущественным распространением трещинных и трещинно-жильных вод. По условиям обводненности и условиям распространения и движения подземных вод здесь выделяются следующие гидрогеологические подразделения:

- 1) локально обводненный горизонт четвертичных покровных отложений;
- 2) относительно водоносная зона экзогенной трещиноватости раннеархейских пород;
- 3) водонепроницаемая зона раннеархейских пород.

*Локально обводненный горизонт четвертичных покровных отложений* распространен до глубины 31,3 м и не выдержан по площади. Водовмещающие отложения представлены суглинками, супесями и песками с включениями дресвы и щебня. Мощность покровных отложений изменяется от 5 до 31,3 м (в среднем 10 м). По данным проведенных исследований, а также по аналогии со смежными районами, фильтрационные свойства этих отложений пестрые (коэффициенты фильтрации составляют от десятых долей до 20 м/сут). Высокими фильтрационными свойствами обладают преимущественно породы зоны аэрации, залегающие на коренных отложениях.

Целиком покровные отложения обводнены лишь в период снеготаяния и затяжных дождей. В другие периоды года породы обводнены лишь линзообразно, за счет литологической неоднородности, а также вблизи местных понижений рельефа на участках, где подземные воды подстилающей относительно водоносной зоны имеют высокие отметки уровней.

Питание подземных вод этого горизонта происходит за счет атмосферных осадков и путем перетока из смежной относительно водоносной зоны. Разгрузка их осуществляется в долинах ручьев и путем перетока вниз.

Подземные воды горизонта пресные гидрокарбонатные кальциевые. Их химический состав обусловлен непродолжительным периодом фильтрации атмосферных осадков.

Авторы обоснованно полагают, что данное гидрогеологическое подразделение не окажет существенного влияния на условия строительства горных выработок, т.к. он будет сдренирован на первых этапах строительства (кн. 1, стр. 93, 197).

*Относительно водоносная зона экзогенной трещиноватости раннеархейских пород* приурочена к верхней части разреза (до глубин 50 - 150 м). Эта зона открытой экзогенной и эндогенной трещиноватости определена по керну всех типов пород. Она содержит трещинные и трещинно-жильные воды.



Глубина залегания уровня подземных вод этой зоны зависит от рельефа и составляет до 15 - 20 м. Породы большей части разреза являются непроницаемыми. Лишь незначительная часть разреза представлена слабопроницаемыми породами (коэффициенты фильтрации этих пород составляют от 0,0002 до 0,3 (в среднем 0,011) м/сут). Эти породы слагают незначительные по мощности относительно водопроницаемые зоны микротрещиноватости, которые имеют субгоризонтальное простирание.

Питание подземных вод этой относительно водоносной зоны происходит за счет атмосферных осадков и путем перетока из четвертичного водоносного горизонта. Разгрузка происходит преимущественно в долинах ручьев, значительно меньше - в подстилающую толщу массивных пород.

Подземные воды зоны пресные (минерализация 0,27-0,5 г/дм<sup>3</sup>) гидрокарбонатные кальциевые. Они обладают незначительной агрессивностью к бетону и средней агрессивностью к алюминиевым оболочкам кабелей. Значения окислительно-восстановительного потенциала свидетельствуют о том, что в подземных водах этой зоны преобладает восстановительная обстановка. Содержание микроэлементов низкие и находятся в пределах питьевых и рыбохозяйственных нормативов. При этом, однако, отмечаются единичные превышения над ПДК по марганцу, барии и титану.

Естественная радиоактивность подземных вод этой зоны была установлена только в одной пробе ( $\alpha$ -активность равна 0,38 Бк/л (1,9 ПДУ), а  $\beta$ -активность - 0,64 Бк/л (0,64 ПДУ)).

Авторы обоснованно полагают, что эта зона «будет оказывать определяющее влияние на обводнение горных выработок в процессе строительства, а также на обводнение транспортных выработок в процессе строительства и эксплуатации» (кн. 1, стр. 94, 197).

*Водонепроницаемая зона раннеархейских пород* начинается с глубин 50 - 150 м. Эта зона сложена довольно монолитным блоком переслаивающихся разновидностей архейских высокопрочных гнейсов и кристаллических сланцев с внедрившимися дайками габбро-диабазов, претерпевшими изменения вместе с вмещающими породами. Здесь ограничено (менее 0,5% от объема пространства) распространены трещинно-жильные и поровые (микropоровые) подземные воды.

Установившиеся уровни этих подземных вод в различных интервалах опробования отличаются между собой, иногда весьма значительно. Водовмещающие трещиноватые породы имеют весьма низкую проницаемость. Средние коэффициенты фильтрации основного объема зоны, вскрытой скважинами, не превышают 0,0005 м/сут. Однако в отдельных интервалах коэффициент фильтрации может повышаться до сотых и даже до первых десятых долей м/сут. Положение участков повышенной проницаемости контролируются зонами брекчирования пород на контактах даек второго этапа внедрения и, в какой-то степени, самими дайками второго этапа.

Питание подземных вод этой зоны происходит путем перетока из вышележащей относительно водоносной зоны. Разгрузка происходит за пределами изученного участка в смежные гидрогеологические подразделения.

Подземные воды этой зоны пресные (минерализация от 0,25 до 0,64 г/дм<sup>3</sup>) гидрокарбонатные кальциевые. По большинству показателей эти подземные воды (в пределах всех исследованных интервалов) соответствуют питьевым и рыбохозяйственным нормативам. Превышения ПДК для питьевого водоснабжения отмечаются по содержаниям железа, марганца, алюминия, хрома, а также по нефтепродуктам, наличие которых обусловлено техногенными факторами (эксплуатация



бурового оборудования). В большинстве проб отмечены также превышения рыбохозяйственных нормативы по железу, меди, молибдену, хромю и цинку. Воды являются неагрессивными или слабоагрессивными.

Естественная радиоактивность подземных вод этой зоны определена в многочисленных пробах, отобранных по всему вскрытому гидрогеологическому разрезу скважин, пробуренных в разное время. В большинстве проб значения активности находятся ниже пределов аналитической чувствительности. Максимальные же значения радиоактивности в обоих интервалах составляют:  $\alpha$ -активность - до 0,15 Бк/л (0,75 ПДУ),  $\beta$ -активность - до 0,13 Бк/л (0,13 ПДУ)

Авторы обоснованно полагают, что эта водонепроницаемая зона окажет лишь ограниченное влияние на обводнение горных выработок. Обусловлено это низкими фильтрационными свойствами водовмещающих отложений (кн. 1, стр. 96).

Отмечается, что в пределах всей территории распространения архейских кристаллических пород Ангаро-Канского гидрогеологического массива Енисейской складчатой области не известны подземные водные объекты, которые могут представлять интерес для централизованного водоснабжения. Здесь нет разведанных месторождений подземных вод любого назначения. Объясняется это крайне низкой водоносностью слагающих его пород и незначительность естественных ресурсов подземных вод (по данным отчета (кн. 1, стр. 232) среднегодовой подземный сток составляет от 1 до 2 л/сек с 1 км<sup>2</sup> (~32-61 мм в год)).

Гидрогеологическая изученность территории представляется достаточной для данной стадии и обоснования строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов. Выбор участка геологического изучения недр и целевых горизонтов возражений не вызывает.

7. Инженерно-геологические условия участка «Енисейский» изучались на предыдущих стадиях геологического изучения недр и процессе инженерных изысканий, выполнявшихся в последнее время. Здесь выделены следующие стратиграфо-генетические комплексы (СГК):

- голоценовый аллювиальный комплекс пойм рек, ручьев и днищ балок;
- элювиально-делювиальный нерасчлененный комплекс;
- коллювиально-делювиальный нерасчлененный комплекс;
- пролювиально-делювиальный комплекс;
- вознесенский озерный, озерно-аллювиальный комплекс;
- рифейский интрузивный комплекс;
- архей-протерозойский метаморфический комплекс.

*Голоценовый аллювиальный комплекс* пойм рек, ручьев и днищ балок имеет незначительную мощность (до 1-7 м). Здесь преобладает дресвяно-щебнистый материал слабой и средней степени окатанности и пылеватые суглинки (от легких до тяжелых). Соответственно, эти суглинки имеют различную степень пластичности (число пластичности изменяется от 8 до 17) и являются, чаще всего, просадочными (коэффициент относительной просадочности составляет 0,02-0,12 мм/м).

*Элювиально-делювиальный нерасчлененный комплекс* включает в себя продукты выветривания, оставшиеся на коренных породах и смещенные по склонам под действием дождевых и талых вод. Выделяются, в основном, в пределах распространения пород архейского и протерозойского возрастов. Их мощность невелика и колеблется в пределах 3-5 м.



*Коллювиально-делювиальный нерасчлененный комплекс* встречается в виде узких полос по склонам поверхностных водотоков с крутизной 30-50°. К этому СГК отнесены грунты, которые образовались при смещении продуктов выветривания коренных пород вниз по склонам под действием силы тяжести и смывания дождевыми и тальми водами. Основными разновидностями являются суглинки, супеси, дресвяные, щебенистые грунты общей мощностью до 4,0 м.

*Проллювиально-делювиальный комплекс* развит на склонах долин водотоков в пределах Енисейского кряжа. Он представлен преимущественно рыхлыми грунтами (щебень, дресва, пески, супеси, суглинки) общей мощностью до 10 м. Они слагают конусы выносов и их шлейфы. Участки развития данного СГК весьма ограничены и не имеют практического значения при наземном строительстве. Суглинки легкие пылеватые тугопластичные с включениями дресвы, щебня (до 10-15%). Они имеют естественную влажность до 25%, число пластичности 10, плотность в естественном состоянии - 1,96 г/см<sup>3</sup>. Грунт непросадочный (коэффициент просадочности равен 0,007 мм/м). Модуль общей деформации в естественном состоянии равен 3,3 МПа. Он уменьшается до 2,6 МПа под водой. Величины сцепления в естественном и водонасыщенном состояниях равны 0,03 МПа и 0,02 МПа. Угол внутреннего трения равен 19° и 18°.

*Вознесенский озерный, озерно-аллювиальный комплекс* распространен первым от поверхности примерно на 50% характеризуемой площади. Он сложен глинами, суглинками, супесями, песками, галечниковыми грунтами общей мощностью до 35,0 м.

*Рифейский интрузивный комплекс* развит под элювиально-делювиальными и коллювиально-делювиальными отложениями. Он включает, большей частью, граниты, диориты и гранодиориты Нижнеканского комплекса. Граниты имеют пористость до 1,15%, плотность в естественном состоянии - 2,62 г/см<sup>3</sup>. Модуль общей деформации в естественном состоянии равен 10000 МПа. Коэффициент крепости (по Протодьяконову) составляет 10-15 д. ед., водопоглощаемость до 0,43%. Породы интенсивно «разбиты» тектоническими зонами на блоки. Прочностные и деформационные свойства гранитов в блоках в 2-3 раза выше, чем на участках разрывных нарушений.

*Архей-протерозойский метаморфический комплекс* распространен, в основном, под рыхлыми элювиально-делювиальными отложениями. Он представлен скальными породами: гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами общей мощностью до 2400 м. Прочностные свойства пород комплекса уменьшаются на участках развития тектонических нарушений.

В отчете сообщается, что при проведении инженерно-геологических изысканий в 2014 г. на площадках проектируемых объектов опасных природных процессов не выявлено. Отмечается лишь возможность проявления морозного пучения и просадок покровных суглинков при их замачивании.

Инженерно-геологическая изученность территории представляется достаточной для данной стадии и обоснования строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов.

Участок «Енисейский» по совокупности основных факторов (геоморфологических, геологических, гидрогеологических и т.д.) обоснованно отнесен ко второй группе по сложности условий.

8. Геотермические условия участка «Енисейский» изучались на предыдущих этапах геологического изучения недр и при инженерных изысканиях для строительства подземных сооружений, проведенных на данном этапе. В результате было установлено, что:



- геотермический градиент находится в диапазоне от  $1,3^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$  до  $1,8^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ , что соответствует среднему значению для земной коры на глубинах до 20 км;
- температура недр на глубине проектируемого сооружения составляет около  $10^{\circ}\text{C}$ , что благоприятно для охлаждения тепловыделяющих РАО.

Термограммы в исследованных скважинах, представленные в рассматриваемых материалах, показывают, что зависимость температуры пород от глубины близка к линейной (кн. 2, рис. 3.38 и 3.39, стр. 53 и 54). Отклонения от прямой линии наблюдаются лишь до глубины меньше 100 м (150 м в скважине Р-1). На этот факт авторы, почему то, не обратили должного внимания.

Лабораторные исследования теплофизических свойств горных пород проводились на этапе поисковых работ. Были исследованы пять образцов горных пород (лампрофир, биотитовый гнейс, кордиерит-биотитовый гнейс, долерит, биотит-плагиоклазовый гнейс) участка «Енисейский», отобранных из скважин Р-6, Р-9, Р-10. В частности, результаты этих определений (кн. 2, табл. 3.43, стр. 89) показывают, что при температуре  $18^{\circ}\text{C}$  значения коэффициентов теплопроводности пород находятся в достаточно узком диапазоне (от 2,37 до 2,99 Вт/м $^{\circ}\text{C}$ , при отклонениях от среднего значения не более 10-12%). Это означает, что в отношении теплофизических свойств разрез является практически однородным.

В таких условиях линейность термограмм свидетельствует о том, что вертикальные потоки подземных вод в этой зоне ничтожно малы и не оказывают заметного влияния на геотермические условия.

9. Работы по комплексной геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической оценке интервала захоронения радиоактивных отходов на глубинах 450-525 метров (+5 – -70 м БС). В соответствии с ТЗ они проводились камеральным путем на основе использования материалов предшествующих геологоразведочных работ, а также материалов инженерных изысканий, выполненных на предпроектной и проектной стадиях. В методическом отношении работы включали (кн. 1, 108-141):

- буровые работы, в т.ч.:
  - 5 скважин глубиной 508,2-539 м и наблюдательная скважина глубиной 50,1 м, пробуренные при проведении инженерных изысканий для обоснования проекта на строительство объекта;
  - скважина ПР-1 глубиной 520 м, пробуренная «для проведения экспериментально-аналитических работ по определению возраста вод, интенсивности водообмена и уточнения гидрогеологической модели участка» (кн. 1, стр. 114);
- геофизические исследования:
  - магнитная съёмка для составления карты магнитного поля, «наиболее наглядно представляющей геологическое строение поверхности» (кн. 1, стр. 118);
  - геофизические исследования в скважинах, в т.ч. скважинная термометрия;
- опытно-фильтрационные работы (пробные откачки, экспресс-откачки и наливки), проводившиеся в процессе изысканий;
- режимные наблюдения (измерения уровней воды в скважинах и отбор проб подземных вод для изучения изменчивости химического состава по сезонам года);
- специальные работы (определение абсолютного возраста и односкважинный трассерный эксперимент для определения наличия подземного потока);



- опробование керна скважин для определения физико-механических свойств основных разновидностей грунтов (при проведении инженерных изысканий для подземного строительства);
- гидрогеохимическое опробование для определения абсолютного возраста и изотопного состава подземных вод;
- лабораторные исследования;
- инженерно-геодезические и инженерно-экологические изыскания, в т.ч.:
  - исследования и изыскания по определению исходной сейсмичности участка с целью сейсмического и микросейсмического районирования);
  - определение возможного расположения разломов по данным космоснимков;
  - GPS-наблюдения за современными движениями земной коры.

В целом работы по оценке интервала захоронения радиоактивных отходов на глубинах 450-525 метров (+5 – -70 м БС) проведены достаточно целенаправленно. Их методика, состав и объем возражений не вызывает.

10. С целью численного решения гидрогеологических задач авторами была разработана региональная фильтрационная модель.

Область моделирования, в пределах которой расположен участок «Енисейский», охватывает часть территории водосборного бассейна р. Енисей, ограниченная в плане осевыми линиями хребтов. Эти внешние границы модели обоснованно рассматривались авторами, как непроницаемые ( $Q=0$ ), т.е. границы II рода<sup>7</sup>.

На внутренних границах модели (притоки р. Енисей Шумиха и ручьи Безымьянный и Студеный) вполне обоснованно рассматривались авторами как граничные условия III рода. При этом, однако, авторы ничего не сообщают о том, на основе каких данных ими были приняты параметры взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Более того, и сами численные значения этих параметров авторами не приводятся.

По долине р. Енисей авторы задавали граничное условие I рода ( $H=\text{const}$ <sup>8</sup>) (кн. 1, стр. 231). Это означает, что авторы считают эту реку совершенной по отношению к первому водоносному горизонту. На чем основано такое представление, авторы не поясняют. Более того, говоря о р. Енисей, сами авторы утверждают следующее: «Учитывая, что река является зоной разгрузки фильтрационного потока, в соответствующих модельных блоках граничной области должно выполняться гидродинамическое условие третьего рода» (кн. 1, стр. 228). В связи с этим вопрос о типе граничного условия на этой реке нуждается в дополнительном обосновании.

Авторы называют эту фильтрационную модель *трехмерной*. Это не так. Следуя построениям авторов это *многослойная двумерная в плане модель*. Действительно, водовмещающая толща до абсолютной отметки -350 м<sup>9</sup> (кн. 1, стр. 250) была аппроксимирована авторами четырьмя расчетными слоями.

Авторы утверждают, что при задании абсолютных отметок кровель и подошв каждого из слоев использовалась их линейная корреляция с абсолютными отметками

<sup>7</sup> Северную и южную границы модели авторы обоснованно определяют, как линии тока, ошибочно называя их «непроницаемыми границами первого рода» (кн. 1, стр. 228).

<sup>8</sup> Значения уровней воды в реке авторами не сообщаются.

<sup>9</sup> По каким данным определена такая отметка нижней границы модели, авторы не сообщают. Важно также, что она расположена на глубине 805 м, которая существенно ниже глубины исследования на предыдущих этапах геологического изучения недр.



рельефа поверхности<sup>10</sup>. В результате мощности слоев оказались в довольно широких диапазонах. Мощность первого от поверхности слоя варьирует от 23 до 40 м, второго и третьего – от 117 до 208 м, четвертого – от 300 до 540 м) (кн. 1, стр. 234).

Для выделенных четырех слоев приняты следующие значения коэффициентов горизонтальной фильтрации ( $k_x$ ): 0,1; 0,01; 0,001 и 0,0001. Авторы модели утверждают, что «проницаемость (коэффициент фильтрации) каждого из слоев отвечала значению проницаемости соответствующего слоя, установленного как результат обобщения данных поинтервальных опытных опробований<sup>11</sup>» (кн. 1, стр. 233). Не совсем ясно, на основе каких данных при разработке модели принимались значения коэффициентов вертикальной фильтрации ( $k_z$ ) расчетных слоев. Величины этих коэффициентов каждого из расчетных слоев модели авторами не указаны<sup>12</sup>.

Предложенная авторами аппроксимация вызывает вопросы. Непонятно, как эти расчетные слои модели соотносятся с тремя гидрогеологическими подразделениями, выделенными при характеристике гидрогеологических условий участка. Согласно результатами геологического изучения недр здесь в пределах изученной части разреза (до глубины 700 м) распространены (см. выше):

- локально обводненный горизонт четвертичных покровных отложений, распространенный до глубины 31,3 м, характеризуется следующими параметрами: средняя мощность 10 м, коэффициенты фильтрации от десятых долей до 20 м/сут;
- относительно водоносная зона экзогенной трещиноватости раннеархейских пород, приуроченная к верхней части разреза (до глубин 50 - 150 м), представлена в основном непроницаемыми породами (лишь в незначительной части разреза выделены зоны слабопроницаемых пород с коэффициентами фильтрации от 0,0002 до 0,3 (в среднем 0,011) м/сут);
- водонепроницаемая зона раннеархейских пород, расположенная ниже глубин 50 - 150 м, характеризуется средними значениями коэффициентов фильтрации, которые не превышают 0,0005 м/сут (в отдельных интервалах коэффициент фильтрации может повышаться до сотых и даже до первых десятых долей м/сут).

Принятые авторами мощности расчетных слоев модели не соответствуют указанным интервалам глубин распространения трех перечисленных гидрогеологических подразделений<sup>13</sup>. Тоже можно сказать и о принятых авторами значениях коэффициентов фильтрации расчетных слоев. Поэтому авторская аппроксимация толщи водовмещающих отложений требует дополнительного пояснения.

<sup>10</sup> Никаких доказательств наличия такой корреляции авторы не приводят. Нет данных о вычисленных, таким образом, значениях абсолютных отметок.

<sup>11</sup> Эти «результаты обобщения» в материалах не приводятся.

<sup>12</sup> Авторы утверждают, что при калибровке модели «значение коэффициента фильтрации в вертикальном направлении оставалось неизменным ( $k_z = 0,0001$  м/сут)» (кн. 1, стр. 236). Однако при этом, не сообщается, к каким расчетным слоям модели относится это значение. Возможно, что такое значение принято для всех расчетных слоев модели. Однако это вызывает сомнение. Например, вертикальные градиенты в верхней и нижней частях разреза отличаются на два порядка (кн. 1, стр. 225).

<sup>13</sup> В тексте, однако, утверждается, что «задаваемая таким образом *ундуляция* отметок подошвы первого от поверхности слоя, в котором находится урвонная поверхность подземных вод, позволяет достаточно корректно представить в модели верхнюю зону разреза, сложенную выветрелыми породами с повышенной проницаемостью» (кн. 1, стр. 234). Таким образом, авторы, по сути, отождествляют первый расчетный слой модели с первым от поверхности гидрогеологическим подразделением. Если это так, то непонятно почему мощность первого от поверхности расчетного слоя принята авторами равной 23-40 м (см. выше), тогда, как средняя мощность первого от поверхности гидрогеологического подразделения равна 10 м (см. выше).



Каждый из выделенных расчетных слоев модели в фильтрационном отношении принят авторами однородным в плане и разрезе. Рассмотрим насколько оправдано такая предпосылка.

С одной стороны, в настоящее время объем фактических данных по фильтрационным свойствам водовмещающих отложений представляется весьма незначительным для того, чтобы принять какое-либо иное распределение фильтрационных свойств в пространстве. Поинтервальные опытные откачки, по которым эти свойства были определены, проводились только на участке «Енисейский». Остальная часть территории, вошедшей в область моделирования, в этом отношении осталась, практически, не изученной.

С другой стороны, имеются многочисленные геологические данные, которые свидетельствуют о том, что фильтрационные свойства водовмещающих отложений варьируют в пространстве в достаточно широких пределах. Прежде всего, рассматриваемая часть массива сложена образованиями различного литологического/петрографического состава и прорвана многочисленными интрузивными образованиями (кн. 1, рис. 1.14 и 1.15, стр. 83 и 90). Она имеет весьма сложное геолого-структурное строение (кн. 1, рис. 1.13, стр. 82). Здесь установлены многочисленные разрывные нарушения и зоны дробления.

Для численного моделирования авторы использовали программный комплекс Processing Modflow (модули ModFlow и PmPath), в котором вычислительный алгоритм построен на методе конечных разностей. Для реализации этого метода авторы выполнили пространственную дискретизацию моделируемого пространства. Никакого обоснования этой дискретизации авторы не приводят. В плане моделируемая территория была аппроксимирована сеткой. В представленных материалах информации об этой сетке нет<sup>14</sup>. Далее, каждый из четырех расчетных слоев «фрагментировался на несколько модельных слоев меньшей мощности». Авторы сообщают, что это делалось для того, чтобы «наиболее корректно отразить положение поверхности безнапорного потока и избежать нежелательных численных эффектов при решении математической задачи» (кн. 1, стр. 234-235). При этом, однако, информации об этой *фрагментации* расчетных слоев в материалах нет<sup>15</sup>.

Одним из важнейших гидрогеологических параметров, без которого невозможно построение модели, является интенсивность инфильтрационного питания подземных вод. Вместе с тем, прямые водобалансовые исследования, необходимые для ее определения, на изучаемой территории не проводились. В связи с этим оценка интенсивности инфильтрации была выполнена по значениям модуля (слоя) подземного стока в реки на основе «доступного фондового материала и литературных источников информации регионального характера» (кн. 1, стр. 232). Конечно, достоверность такой оценки не может быть признана высокой. Тем не менее, авторами был определен наиболее вероятный диапазон значений интенсивности инфильтрационного питания  $5 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 10^{-4}$  м/сут (18–73 мм/год). Эта оценка представляется приемлемой.

Распределение значений интенсивности инфильтрационного питания из этого диапазона по площади (кн. 1, рис. 3.17, стр. 233) осуществлялось авторами на основе

<sup>14</sup> Судя по иллюстрациям, приведенным в разделе 3.2.3.2, в котором содержится описание модели, это равномерная квадратная сетка с шагом порядка 150 м.

<sup>15</sup> На основе иллюстраций, приводимых авторами, можно предположить, что общее число таких фрагментированных слоев было равно 20.



«концепции корреляции величины инфильтрационного питания с рельефом» (кн. 1, стр. 233).

Остановимся на обоснованности этой «концепции». Строго говоря, интенсивность инфильтрационного питания зависит в основном от глубины залегания уровня первого от поверхности водоносного горизонта (известно, что с увеличением глубины залегания этого уровня уменьшается эвапотранспирация). При этом, указанная зависимость является существенно нелинейной. В свою очередь, глубина залегания уровня тесно связана с относительным превышением рельефа над базисом дренирования (в данном случае – р. Енисей). Эта связь, как правило, может аппроксимироваться, например, полиномиальной функцией. Из сказанного следует, что корреляция, о которой говорят авторы, должна иметь место, однако, она, безусловно, является весьма сложной и нелинейной.

Авторы, однако, ничего не сообщают о характере принятой ими корреляционной зависимости и ее параметрах. Нет даже информации о том, по каким данным она была получена. Это не позволяет выполнить экспертную проверку обоснованности полученных авторами результатов.

Моделирование выполнялось для безнапорного режима фильтрации<sup>16</sup> и в стационарной постановке. Это возражений не вызывает.

Далее авторами осуществлялась калибровка разработанной модели, т.е. решение обратной гидрогеологической задачи. Авторы утверждают, что она «сводилась к уточнению профиля проницаемости ( $k_z$ ) при заданном распределении инфильтрационного питания» (кн. 1, стр. 235-236). В процессе калибровки модели при исходных значениях коэффициентов фильтрации ( $k_x$  и  $k_z$ ) было получено удовлетворительное соответствие модельных и фактических отметок уровней подземных вод в контрольных точках (кн. 1, рис. 3.20, стр. 236). При этом авторы, совершенно справедливо, отмечают, что «основной объем гидрогеологических опробований и режимных наблюдений был выполнен на участке расположения проектируемого инженерного сооружения, так что слабо охарактеризованными оказались периферийные зоны региональной модели» (кн. 1, стр. 235). Действительно, для калибровки модели авторы могли использовать данные по уровням подземных вод только в двух точках, где были расположены вертикальные кусты гидрогеологических скважин. Такого объема информации явно недостаточно для того, чтобы говорить об адекватности модели ее природному прототипу в целом.

Затем авторы сообщают, что по результатам калибровки модельный расход р. Шумихи оказался близким «к меженному стоку ее реального прототипа» (кн. 1, стр. 236). Сообщается, что «продолжительных гидрологических наблюдений за стоком не проводилось» (кн. 1, стр. 236). Поэтому меженный (минимальный, 30-дневный) расход р. Шумихи (а также ручьев Безымянный и Студеный) был вычислен по реке-аналогу р. Большой Тель у с. Большой Балчуг. При этом, к сожалению, никаких фактических данных по стоку этой реки-аналогу в представленных материалах нет. Нет даже доказательства декларируемой аналогии. Все это не позволяет выполнить экспертную проверку гидрологических расчетов меженных расходов, выполненных авторами.

Таким образом, авторы вынуждены были сопоставлять одни расчетные данные (результаты моделирования) с другими расчетными данными, полученными из данных по реке-аналогу. Оценочный характер такого сопоставления очевиден. Тем ни менее, авторы выполнили такое сопоставление и пришли к выводу о том, что между модельными и

<sup>16</sup> Безнапорный режим фильтрации, конечно, имеет место только в первом из фрагментированных слоев. В остальных слоях должен моделироваться напорный режим фильтрации.



расчетными меженными расходами перечисленных трех водотоков имеется хорошее соответствие (кн. 1, табл. 3.20, стр. 238<sup>17</sup>). Невязки между этими величинами, действительно, не превышают 20%.

Анализируя этот вывод, необходимо остановиться на следующем моменте. Модельные результаты сопоставлялись авторами с расчетными величинами меженных расходов 90% обеспеченности. Какими соображениями руководствовались авторы, принимая такой уровень обеспеченности не понятно. Обычно, в тех случаях, когда речь идет о выполнении долгосрочных прогнозов (десятки, сотни и, даже, тысячи лет), модельные величины сопоставляются со среднемноголетними меженными расчетными расходами. Как это следует из табл. 3.19 (кн. 1, стр. 237), а такие меженные расходы больше принятых авторами величин примерно в 1,28 раза. В этом случае невязки будут уже достигать 36%. При таких величинах невязок трудно говорить о хорошей сходимости модельных и расчетных данных. Более того, необходимо признать, что заданные авторами модельные величины интенсивности инфильтрационного питания подземных вод являются существенно заниженными. Это, в свою очередь, означает, что занижено и значение коэффициента фильтрации ( $k_x$ ) первого расчетного слоя модели.

Модельные результаты, полученные при калибровке модели, представлены в материалах весьма не полно. Карты (схемы) распределения напоров приведены только для 1-го и 20-го слоев модели (кн. 1, рис. 3.21, стр. 239). Отсутствуют сведения о модельном балансе подземных вод. Все это не позволяет выполнить экспертную проверку результатов моделирования.

Резюмируя все вышесказанное, можно утверждать, что разработанная модель соответствует природному прототипу лишь качественно (полуколичественно) и, следовательно, носит концептуальный и иллюстративный характер. Все численные оценки, полученные авторами с помощью этой модели, должны быть признаны сугубо ориентировочными.

11. Разработанная авторами региональная модель использовалась для решения прогнозной задачи по оценке водопритоков в проектируемые горные выработки. Эта задача вполне обоснованно решалась в стационарной безнапорной постановке.

Горные выработки задавались на двух этажах (+5 и -70 м). Они рассматривались авторами, как совершенные дрены геометрически подобные реальному объекту на различных этапах его создания. Авторы справедливо полагают, что при нулевом сопротивлении этих дрен обеспечивается определенный инженерный запас, т.к. расчетные водопритоки при этом оказываются несколько завышенными. Далее авторы обоснованно предполагают, что при проходке вертикальных скважин (для размещения высокоактивных РАО) условия взаимосвязи горизонтов будут существенно улучшены. В связи с этим в соответствующих блоках модели вертикальная проницаемость авторами была увеличена (до  $k_z=1$  м/сут). Все эти соображения авторов принципиальных возражений не вызывают.

Водопритоки рассчитывались для трех основных периодов эксплуатации объекта:

- 1) создание подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ);
- 2) начальный период создания собственно ПГЗРО (горнопроходческими работами охвачено примерно 1/2 часть проектного подземного пространства);
- 3) заключительный период выхода объекта (ПГЗРО) на проектную мощность.

<sup>17</sup> В заголовке этой таблицы потеряно ключевое слово «меженный».



Очевидно, что совершенные дрены моделировались граничным условием I рода. Однако в представленных материалах не показаны блокам модели с таким граничным условием и нет данных по абсолютным отметкам уровней подземных вод, которые были заданы в этих блоках модели для каждого их указанных выше периодов эксплуатации.

Согласно результатам прогнозного моделирования водоприитоки в горные выработки будут небольшими. По мере развития горнопроходческих работ они будут возрастать от 3–4 м<sup>3</sup>/ч (на 1-м этапе) до 7–8 м<sup>3</sup>/ч (на 3-м этапе) (кн. 2, стр. 9).

Экспертная проверка этих результатов представляется невозможной, поскольку результаты моделирования представлены неполно. Приводятся лишь карта (схема) распределения напоров подземных вод на отметке -70 м (кн. 2, рис.3.23, стр. 10) и карта (схема) изменения депрессионной поверхности<sup>18</sup>. К тому же они соответствуют только для 3-му периоду эксплуатации объекта. Нет также информации по модельным балансам подземных вод.

Полученные результаты моделирования, в силу соображений, высказанных выше, следует рассматривать, как предварительные и сугубо ориентировочными оценками.

Кроме этого, авторы приводят результаты оценки начальных водопритоков в шахтные стволы в период их строительства. Эти расчеты выполнены на основе результатов поинтервального опробования скважин Р-11, Р-12 и Р-13 в период проведения изысканий. Расчеты носят ориентировочный характер, поскольку в них лишь косвенно используются фактические данные опробования скважин. Они, по сути, представляют собой экстраполяцию *расчетного* водопритока в скважину «при снижении уровня до верха интервала», который, в свою очередь определен, исходя из удельного дебита водопритока при опробовании (кн. 2, стр. 10).

Согласно этим расчетам во время строительства шахтных стволов до глубины 130 м, водоприитоки могут достигать 10 м<sup>3</sup>/час и более на 10 м открытого ствола, ниже - водоприитоки не превысят 3 м<sup>3</sup>/час. Максимальная величина водопритока, который может наблюдаться в период проходки шахтных стволов, составляет 13,07 м<sup>3</sup>/час (кн. 2, табл. 3.24, стр. 13).

По мнению авторов, сброс дренажных вод возможен в поверхностные водные объекты. Наиболее предпочтительными из них являются ручьи (притоки речки Шумихи). В этом случае точка сброса дренажных вод будет максимально удалена от р. Енисей. Оценка показывает, что при указанном выше максимальном сбросе дренажных вод средний расход р. Шумихи увеличится на 9%. Это обеспечит десятикратное разбавление дренажных вод, в которых возможно превышение концентраций некоторых элементов над рыбохозяйственными ПДК. Тем не менее, авторы рекомендуют для очистки дренажных вод перед их сбросом в поверхностные воды проводить специальных мероприятий (кн. 2, стр. 109-110). С этим следует согласиться.

12. Разработанная авторами региональная модель использовалась также для изучения кинематики движения нейтральных (несорбируемых) частиц воды и оценки расчетного возраста подземных вод.

Эти гидродинамические расчеты основаны на представлении о том, что «истинная» скорость движения нейтральных частиц пропорциональна скорости фильтрации по Дарси и обратно пропорциональна *активной пористости* среды. Здесь речь, конечно, должна идти о средней скорости переноса, т.е. о расчетах, которые

<sup>18</sup> По всей вероятности, имеются в виду понижения уровней подземных вод в первом слое модели.



основаны на *схеме поршневого вытеснения*<sup>19</sup>, без учета *дисперсии*, которая возникает при движении фронта частиц. Известно, что дисперсия в трещинно-пористых породах (средах с «двойной пористостью») может быть весьма значительной. Однако на изучаемой территории никаких специальных миграционных исследований, позволяющих учесть это явление, не проводилось. Поэтому можно согласиться с принятым авторами подходом, считая, конечно, что выполняемые ими расчеты носят предварительный, оценочный характер.

В качестве активной пористости авторы принимают сумму активной трещиноватости<sup>20</sup> и пористости «матрицы». Строго говоря, это не так. Правильнее было бы определять активную пористость, как средневзвешенную величину пористости заполнителя трещин в объеме трещинного пространства и пористости матрицы в ее объеме. Это замечание не является принципиальным, поскольку в данном случае, при весьма малых значениях расчетных емкостных параметров, ошибка определения активной пористости представляется ничтожной.

Далее авторы отмечают, что никаких специальных исследований, связанных с определением активной трещиноватости, на объекте не проводилось. Поэтому они предлагают принять это значение равным 0,2-0,3% на основе литературных (справочных) данных.

Авторы сообщают, что определения матричной пористости проводились в лаборатории компании GRS (Германия) по 16 образцам гнейсов (керн) отобранных из скважины Р-12 (кн. 2, табл. 3.25, стр. 14). 14 из этих определений находятся в интервале 0,18-0,59% (0,39% в среднем). Кроме того, авторы ссылаются на литературные данные характерные для других регионов и утверждают, что матричная пористость гнейсов<sup>21</sup> не превышает 0,2-0,3%<sup>22</sup>. В результате суммарная активная пористость принята авторами равной 0,6%.

Достоверность значения активной пористости, принятого авторами, безусловно, вызывает сомнения. Во-первых, это значение основано на литературных данных и единичных лабораторных определениях. Оценки его в полевых условиях при геологическом изучении недр не проводились. Во-вторых, лабораторные исследования были проведены только для пород одного типа (гнейсов). Распространение этого значения на все другие литологические/петрографические типы водовмещающих отложений (в т.ч. на рыхлые отложения первого от поверхности водоносного горизонта) представляется недопустимым. В-третьих, авторы не привели никаких доказательств возможности распространения этого значения на всю изучаемую территорию. Тем не менее, его использование для дальнейших расчетов представляется возможным, если считать сами эти расчеты являющимися предварительными и оценочными.

Для этих расчетов использовалась региональная фильтрационная модель, разработанная авторами (см. выше). На ее основе авторы определили траектории движения частиц воды и рассчитали время их продвижения:

<sup>19</sup> Авторы в данном разделе не используют приводимую здесь терминологию.

<sup>20</sup> Правильнее здесь говорить о трещинной пустотности или трещинной пористости (эти понятия не совсем тождественны).

<sup>21</sup> Непонятно, почему здесь речь идет только о гнейсах.

<sup>22</sup> Авторы этого раздела ничего не сообщают о результатах изучения открытой пористости горных пород участка «Енисейский», отобранных из керн на оценочной стадии работ. Определения, выполненные в Центральной лаборатории ОАО «Красноярскгеология», показали, что все породы обладают очень низкими значениями открытой пористости (среднее ее значение равно 0,33%, а максимальное – 0,55%). Открытая же пористость гнейсов в среднем оказалась на 0,1% выше, чем открытая пористость долеритов (кн. 1, стр. 204).



- от водораздельной области, расположенной восточнее площадки размещения объекта, до зоны расположения горных выработок проектируемого объекта на отметках +5 – (-70) м;
- от места расположения подземного сооружения (внешнего контура горных выработок) до зоны разгрузки подземных вод (р. Енисей).

Было установлено, что максимальное время миграции инертной частицы в первом случае составляет до 8 тыс. лет<sup>23</sup> (это время авторы отождествляют с возрастом воды), а во втором оно находится в диапазоне от 34 до 84 тыс. лет (около 46 тыс. лет в среднем). Экспертная оценка показала, что эти цифры рассчитаны авторами правильно.

13. Оценка условий формирования подземных вод и темпов их циркуляции проводилась также путем изучения изотопного состава (дейтерия и кислорода-18) трещинных и поровых подземных вод. С этой целью осуществлялся поинтервальный отбор проб из скважины ПР-1 (см. ниже). Интерпретация данных выполнена авторами методически правильно. По результатам этих исследований авторы сделали следующие, вполне обоснованные, выводы:

- в приповерхностной зоне массива (до глубин 100–150 м) преобладают современные воды;
- в средней зоне массива (глубины 150–350 м) подземные воды имеют изотопный состав с признаками, указывающими на их происхождение из талой мерзлоты, по-видимому, относящейся к последнему максимуму оледенения (около 20 тыс. лет назад);
- нижняя часть массива (максимальная глубина опробования – 700 м) представляет собой зону изотопически легких вод, поступивших в массив, вероятнее всего, во время последнего ледникового периода 20–100 тыс. лет назад.
- в поровой системе гнейсов обнаружены воды, являющиеся, по изотопным признакам, остатками от замерзания. Вероятнее всего эти воды поступили в массив в период предпоследнего миккулинского межледниковья (более 100 тыс. лет назад);
- массив в целом характеризуется весьма замедленными темпами водообмена, который происходит по нескольким системам трещиноватости.

Определение абсолютного возраста подземных вод было выполнено в 2011 г. (по углероду-14) на оценочной стадии геологического изучения, а также в 2014 г. (по углероду-14, хлору-36 и радию) при проведении изысканий для обоснования проекта на строительство объекта.

По итогам работ 2011 г. были получены весьма противоречивые результаты, не соответствующие теоретическим представлениям о том, что возраст подземных вод должен возрастать с глубиной. Такая ситуация объясняется авторами проникновением относительно «молодых» подземных вод четвертичного водоносного комплекса в опробуемый интервал по причине несовершенства конструкций опробуемых скважин (неэффективная гидравлическая изоляция опробуемых интервалов) и (кн. 2, стр. 32).

В связи с этим в 2014 г. сооружена специальная скважина (ПР-1), в которой была выполнена гидравлическая изоляция приповерхностных интервалов трещинных вод от целевого глубинного интервала. Для исключения возможного подтягивания воды из интервалов поглощения в стволах ранее пробуренных скважин она была расположена на

<sup>23</sup> Согласно табл. 3.26 (кн. 2, стр. 17), среднее время миграции инфильтрационных вод составляет от 3 до 5 тыс. лет.



удалении от изучаемой площадки в сторону водораздела. Пробы воды отобраны в интервале 492-520 м.

Обработка данных выполнена авторами методически правильно, без существенных технических погрешностей. Тем не менее, по мнению авторов, результаты этих исследований оказались малодостоверными (кн. 2, стр. 180).

Датирование подземных вод по углероду-14 и хлору-36 показало, что эти оценки несут заметные искажения, которые обусловлены влиянием техногенных факторов (по данным отчета в производственном цикле ГХК нарабатывается техногенные углерод-14 и хлор-36 (кн. 2, стр. 36 и 39)<sup>24</sup>), а также условиями проходки и опробования скважины ПР-1 (кн. 2, стр. 39). Выполненное датирование по углероду-14 (порядка 1900-2000 лет) авторы предлагают рассматривать как оценку возраста подземных вод «снизу». Это в целом верно. При этом, однако, следует иметь в виду, что степень занижения этой оценки определить невозможно. Датирование же по хлору-36 (от 78 до 145 тыс. лет) авторы не принимают даже как оценку возраста подземных вод «сверху». Объясняется это весьма высокой чувствительностью возраста, рассчитываемого по хлору-36 к величине плохо оцениваемого начального отношения  $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ .

Датирование по радио дало существенно заниженные оценки возраста (от 44 до 162 лет в среднем). Авторы установили, что между расчетными оценками возраста и объемами воды, отобранной из скважины с начала опробования существует линейная связь (кн. 2, стр. 40). Это привело авторов к вполне обоснованному выводу о том, что занижение оценок возраста по радио обусловлено «поступлением в зону опробования молодых инфильтрационных вод и их смешение с древними». Наиболее вероятной причиной этого, по мнению авторов, «является трещиноватость вокруг ствола скважины, активизированная работой породоразрушающего инструмента» (кн. 2, стр. 40). Таким образом, авторы, фактически, приходят к выводу о том, что принятые при сооружении скважины ПР-1 меры для гидравлической изоляции опробуемого интервала оказались неэффективными.

Тем не менее, авторы сделали попытку оценки «неискаженную» оценку возраста по радону. С этой целью была выполнена экстраполяция указанной зависимости на нулевой объем отобранной воды. В результате по расчету авторов возраст древних вод составил 4880 лет. Эта величина, действительно, имеет порядок близкий к оценкам возраста, полученным радиоуглеродным анализом и гидродинамическим методом (методом математического моделирования). Конечно при столь небольшом диапазоне фактических данных по объемам отобранной воды (от 1242 до 1273 л) нулевое значение объема находится далеко за пределами доверительного интервала. Это означает, что возможная погрешность, связанная с такой экстраполяцией может быть весьма значительной. При этом оценить эту погрешность невозможно.

14. Для оценки наличия потока подземных вод был проведен специальный односкважинный трассерный полевой опыт. С этой целью в скважине ПР-1 после отбора проб на определения абсолютного возраста для изоляции верхней части ее открытого ствола скважины была установлена пакерная колонна (проходной пакер располагался на глубине 492 м). После «выстойки» скважины в течении 5 дней нижняя часть скважины была заполнена индикаторным раствором на основе тритиевой воды.

<sup>24</sup> Авторы не высказывают никаких предположений о том, каким образом эти техногенные изотопы оказались в опробуемом интервале. По-видимому, это произошло в процессе бурения скважины при промывке ее водой.



Далее, в течение 56 суток, отбирались пробы воды (после ее перемешивания) в интервале расположения фильтров. Данных по содержанию трития в этих пробах в представленных материалах нет. Нет даже сведений об объемах проб и способах их отбора. Авторы лишь сообщают, что: «Значимого тренда изменения содержаний трития в ходе индикаторного эксперимента не было обнаружено. Результаты анализов демонстрируют хаотичное изменение активностей трития, существенно превышающее ошибку измерений. Таким образом, не было обнаружено существенного поступления жидкости извне в исследуемый интервал скважины ПР-1» (кн. 1., стр. 137). Никаких соображений о причинах такого результата эксперимента авторы не приводят.

Можно, конечно, попытаться объяснить этот результат техническими причинами, т.е. наличием значительного фильтрационного сопротивления скважины (в пределах опробуемого интервала), возникшем при ее некачественной проходке. Однако, очевидно, это не так. Целевой интервал скважины не был существенно изолирован в гидравлическом отношении от окружающих пород. Об этом свидетельствует информация о том, что перед началом опыта (в течение 5 суток) из этого интервала ежедневно производилась откачка 200 л воды (при снижении уровня на 70 м) (кн. 1, стр. 137).

Очевидно, что причина отрицательного результата опыта объясняется его недостаточной продолжительностью. Действительно, скорость выноса трассера из скважины определяется скоростью фильтрации в опробуемом интервале. Оценим ее значение:  $v_x = k_x \cdot i_x = 10^{-3} \cdot 0,014 = 1,4 \cdot 10^{-5}$  (здесь  $k_x$  – коэффициент горизонтальной фильтрации 3-го расчетного слоя модели;  $i_x$  – горизонтальная составляющая градиента естественного (ненарушенного) потока подземных вод в районе участка «Енисейский», которая принята средней из соответствующих величин 1-го и 20-го фрагментированных слоев модели (кн. 1, рис. 3.21, стр. 239)).

Относительное изменение концентрации трассера за время опыта  $t=56$  сут, можно определить по следующей приближенной формуле  $\Delta C/C_0 \approx v_x \cdot t/r_c \approx 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 56/0,044 \approx 0,0018$  (здесь:  $C_0$  – начальная концентрация трассера,  $r_c$  – радиус скважины в интервале опробования). Это означает, что при такой скорости фильтрации и такой продолжительности опыта концентрация трассера могла измениться лишь на десятые доли %.

Из проведенной нами оценки следует, что односкважинный трассерный опыт в данных условиях не мог дать никакого результата. Следовательно, его постановка для толщи слабопроницаемых пород не может быть признанной разумной.

15. Детальное моделирование геомиграции выполнялось на профильной двумерной модели, параметрически согласованной с многослойной региональной фильтрационной моделью (см. выше). С этой целью авторы выбрали наиболее представительный, по их мнению, профиль, который совпадает с главной линией тока, проходящей по направлению от водораздела (области питания подземных вод) к зоне разгрузки подземных вод в долине р. Енисей через площадку размещения проектируемого инженерного сооружения. Длина этого профиля более 7 км.

Водовмещающая толща, аппроксимированная, как и при разработке региональной модели, четырьмя расчетными слоями, была разбита на 40 (фрагментированных) слоев переменной мощности. Шаг сетки по горизонтали принят авторами равным 50 м. Никакого объяснения такой аппроксимации области моделирования в представленных материалах нет. Судя по всему, она обусловлена тем, что на этой сеточной модели воспроизводилась профильная геометрия инженерного сооружения (в интервале а.о.



глубин +5 – (-70) м) с соблюдением размеров внешнего контура горных выработок ПЗРО.

Как сказано выше, региональное моделирование миграции осуществлялось в рамках схемы поршневого вытеснения. В отличие от этого, при профильном моделировании учитывалась дисперсия, обусловленная гидродинамической дисперсией в трещинном пространстве и кинетикой диффузионного насыщения матрицы породы (межтрещинного пространства).

Авторы утверждают, что параметры (константы продольной и поперечной) гидродинамической дисперсии приняты ими, по аналогии с другими объектами<sup>25</sup>, равными  $\delta_L=10$  м и  $\delta_T=0,1 \cdot \delta_L=1$  м, соответственно (кн. 2, стр. 43).

Расчеты миграции проводились для нейтральной примеси, в качестве которой авторами рассматривался наиболее опасный загрязнитель –  $^{129}\text{I}$ , отличающийся «низкой химической активностью (коэффициент сорбционного распределения близок к 0), весьма продолжительным периодом полураспада ( $T_{1/2} = 1,57 \cdot 10^7$  лет), низкой эффективностью задержки этого радионуклида инженерными барьерами» (кн. 1, стр. 44).

При этих расчетах авторы, вполне обоснованно, учитывали кинетику массообмена между трещинами и пористыми блоками на основе модели *сосредоточенной емкости*. С этой целью была выполнена оценка возможной величины коэффициента скорости массообмена. Для этого использовались значения удельной поверхности блоков, которая, в свою очередь, была оценена через ориентировочный средний размер пористых блоков на основе предположения, что они имеют изометрическую форму, и литературные данные по коэффициентам молекулярной диффузии радионуклида  $^{129}\text{I}$ , определенных, как утверждается, при лабораторных исследованиях образцов гнейса. В результате было установлено, что значение этого коэффициента находится в довольно широком диапазоне (от  $5 \cdot 10^{-6}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>) (кн. 2, стр. 45).

Здесь следует отметить, что никаких полевых опытов по определению миграционных параметров на изучаемой территории не проводилось. Предложенные же авторами подходы к их оценке не позволяют сделать вывод о степени достоверности принятых значений. Это означает, что использовать их можно исключительно для самых ориентировочных расчетов.

Расчеты авторов показывают, что первые порции загрязнения ( $^{129}\text{I}$ ) подойдут к долине р. Енисей примерно через 5 тыс. лет. С этого момента примерно до 10 тыс. лет здесь будет наблюдаться постепенный рост концентрации радионуклида  $^{129}\text{I}$  (до относительных концентраций 0,0025 – 0,0035, в зависимости от величины коэффициента скорости массообмена). Затем примерно в течение 80–100 тыс. лет будет наблюдаться постепенное падение концентрации (кн. 2, рис. 3.36, стр. 47 и рис. 3.37, стр. 48). Эти результаты в качественном отношении представляются вполне обоснованными. Количественные же оценки, предложенные авторами, следует признать весьма ориентировочными.

16. Основываясь на результатах проведенных работ, в целом, и моделирования, в частности, авторы делают вполне обоснованный вывод о том, что участок «Енисейский» по гидрогеологическим условиям является благоприятным для строительства объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов в интервале глубин 450–525 метров (+5 – -70 м БС). Этот участок соответствует нормативным требованиям к обеспечению безопасности (НП-055-14). В результате геологического

<sup>25</sup> Однако ничего не сообщается, о каких объектах идет речь.



изучения недр (в т.ч. его данного этапа) авторы приходят к следующим вполне обоснованным выводам:

- в пределах рабочей толщи не содержится линз рассолов, пластов проницаемых пород;
- область горных пород не содержит водоносных горизонтов, линз подземных вод или трещиноватых зон, по которым возможен водоприток в горные выработки и их затопление;
- подземные воды имеют восстановительный характер, слабощелочную реакцию и низкую минерализацию;
- активные разломы в пределах площадки отсутствуют;
- выше намечаемой глубины заложения сооружений ПЗРО располагаются не пригодные для водоснабжения водоупорные и водоносные горизонты;
- отсутствуют обнаруженные и (или) вероятные каналы гидравлической связи намечаемых интервалов размещения ПЗРО с дневной поверхностью, с выше- и нижележащими водоносными горизонтами (включая не пригодные для водоснабжения).

17. Перенос большинства радионуклидов будет существенно замедляться в результате их сорбции на вмещающих породах. Изучение сорбции ряда радионуклидов ( $^{233}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) было проведено в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН на 17 размолотых образцах горных пород участка «Енисейский», отобранных при бурении геологоразведочных скважин на стадии оценочных работ.

В результате этих лабораторных исследований были определены сорбционные свойства (коэффициенты распределения и факторы задержки) некоторых типов горных пород (пород зоны дробления и гнейсов) (кн. 2, табл. 3.51, стр. 105).

Анализируя эти результаты, авторы приходят к выводу о том, что во всех изученных типах пород скорость распространения плутония и америция будет на 3 порядка меньше скорости распространения потока подземных вод, а нептуния - более чем на 1-2 порядка. Отставание урана в породах зоны дробления будет составлять 1-2 порядка, а в гнейсах - 3 порядка.

Эти результаты и выводы авторов в целом представляются обоснованными.

18. Для оценки экологической опасности сооружения были проведены радиогидрогеохимические расчеты.

Первоначальные расчёты выполнялись специалистами отдела «Final Repository Safety Research Division» (GRS, Germany) Jens Wolf и Judith Flügge. В их основу были положены результаты математического моделирования сорбционно-миграционных процессов. Авторами этих расчетов были определены:

- активности основных долгоживущих радионуклидов ( $^{79}\text{Se}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{229}\text{Th}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{243}\text{Am}$ ) в подземных водах на выходе из бентонитового барьера в массив горных пород (модель CLAYPOS);
- концентрации долгоживущих изотопов ( $^{79}\text{Se}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) на расстоянии 10 м от объекта после миграции с подземными водами по зоне выщелачивания, заполненной каолиновыми глинами, в течение периода времени около 40 тыс. лет (модель CHETMAD).

Выполнить экспертную проверку этих расчетов, практически, невозможно. В представленных материалах нет информации о параметрах рассматриваемых процессов,



об используемых моделях и о численных методах их реализации<sup>26</sup>. По-видимому, здесь следует согласиться с авторами, которые справедливо отмечают, что «результаты моделирования, полученные немецкими специалистами, имеют предварительный характер, но они вполне соответствуют оценочной стадии проведенных работ» (кн. 2, стр. 113).

Германские специалисты представили также оценку индивидуальной дозы для населения, основанную на гипотетическом (практически невероятном) сценарии, предполагающем мгновенный вынос раствора радионуклидов с глубины 400 м на поверхность: 0,0002 мЗв/год. Это в 50 раз меньше предельно допустимой дозы облучения критической группы населения за счет захоронения РАО, составляющей  $10^{-2}$  мЗв/год. При этом обоснованно утверждается, что эта оценка является крайне завышенной (консервативной).

Работы по оценке и обоснованию долговременной безопасности проектируемого объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов были продолжены в 2014 г. СПб отделением ФБУ «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева» (ИГЭ) РАН.

Авторами этой работы был выполнен прогноз миграции десяти основных радионуклидов ( $^{129}\text{I}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{99}\text{Tc}$  ( $\text{TcO}_4^-$ ),  $^{79}\text{Se}$  ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ),  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{243}\text{Am}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) в геосфере после закрытия объекта. Для этого прогноза использовалась профильная модель, рассмотренная нами выше.

При моделировании миграции этих радионуклидов авторами учитывалась их сорбция (на стенках трещин и в пористой матрице) и естественный распад. С этой целью авторы подразделяют рассматриваемые радионуклиды на группы. При этом в качестве критерия использовалось расчетное время полного прохождения частицы от источника до зоны разгрузки с учетом адсорбции на поверхности трещин ( $T = T_p \cdot R_f$ , где:  $T_p$  – время миграции нейтральной примеси,  $R_f$  – фактор сорбционной задержки) соотнесенное со временем 10 периодов полураспада ( $T_{1/2}$ ). Всего было выделено три группы:

- инертные и слабо сорбируемые радионуклиды ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$ ) с короткими периодами полураспада ( $T \gg 10T_{1/2}$ ), которые «не смогут попасть в зону разгрузки, т.к. за время нахождения в пласте они успеют полностью распасться» (кн. 2, стр. 115);
- хорошо сорбируемые радионуклиды ( $^{243}\text{Am}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) с периодами полураспада не превышающими первых десятков тысяч лет ( $T \approx 10T_{1/2}$ ), лишь небольшая часть которых может поступить в зону разгрузки;
- инертные, а также относительно слабо сорбируемые радионуклиды ( $^{129}\text{I}$ ,  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) с периодом распада более 100 тыс. лет ( $T \ll 10T_{1/2}$ ), которые будут являться дозообразующими в зоне разгрузки.

Выделяя эти группы и предлагая результаты прогнозных расчетов, авторы не ничего не сообщают о принятых ими значениях сорбционных параметров (факторах сорбционной задержки). Сообщается лишь, что они «были получены в лабораторных экспериментах на образцах<sup>27</sup> и на объектах-аналогах» (кн. 2, стр. 117).

<sup>26</sup> Этой информации нет также в отчете об оценочной стадии работ.

<sup>27</sup> Отметим, что лабораторные определения сорбционных свойств, результаты которых представлены выше, были проведены только для четырех радионуклидов ( $^{233}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) из десяти рассматриваемых здесь.



При прогнозных расчетах авторами рассмотрены два сценария событий: базовый (нормальная эксплуатация ПГЗРО на протяжении периода  $10^{10}$  лет<sup>28</sup>) и аварийный (при котором произойдет одномоментное попадание всей накопленной активности ПГЗРО в водоносный горизонт). В обоих случаях авторы рассчитывали миграцию в двух вариантах (консервативном и реальном), при низкой и высокой<sup>29</sup> сорбционной способности радионуклидов, соответственно.

Результаты прогноза миграции инертной частицы рассмотрены нами выше. Они хорошо согласуются с результатами прогноза миграции  $^{129}\text{I}$ , который, по мнению авторов, «практически не задерживается в системе инженерных барьеров и не сорбируется на стенках трещин» (кн. 2, стр. 117). Действительно, согласно прогнозным расчетам, закономерности миграции  $^{129}\text{I}$  практически не зависят от сценария и варианта расчета. Так первые порции  $^{129}\text{I}$  поступят в зону разгрузки уже через 800 лет. Пик его массового расхода ( $1,6 \times 10^7$  Бк/год) приходится на время 22–30 тыс. лет (кн. 2, рис. 4.5 – 4.8, стр. 117–119).

Кроме того, прогнозы миграции показали следующее:

- короткоживущие радионуклиды первой группы при любом сценарии и варианте расчета не достигают зоны разгрузки (р. Енисей);
- радионуклиды второй группы могут в относительно небольших количествах поступить в зону разгрузки, но только в консервативном варианте расчета (при любом сценарии);
- в базовом сценарии пики концентрации радионуклидов третьей группы будут наблюдаться через сотни тысяч и более лет;
- в аварийном сценарии максимум разгрузки радионуклидов третьей группы в реку будет иметь место через десятки и сотни тысяч лет; при этом существенно увеличиваются их массовые расходы.

Обоснованность результатов прогнозов, выполненных авторами, с качественной точки зрения не вызывает сомнений. Однако представленные количественные оценки являются, как и ранее, весьма ориентировочными. Это, прежде всего, связано с низкой достоверностью миграционных параметров, принятых по литературным данным и единичным лабораторным определениям. Тем не менее, эти оценки дают ориентировочное представление о порядке прогнозируемых величин.

Авторы также выполнили имитационное моделирование для оценки роли субвертикальных зон повышенной трещиноватости, ассоциируя их с зонами тектонического нарушения или контактами даек с гнейсами. Результаты этого моделирования показывают, что наличие разломов приводит к следующему. Вблизи проектируемого сооружения интенсифицируется миграция радионуклидов вглубь массива (это должно приводить к увеличению времени появления загрязнения в зоне разгрузки). Однако в зоне разгрузки при этом, в свою очередь, увеличивается скорость восходящей миграции. В итоге общее время миграции вещества от источника до зоны разгрузки сокращается примерно на 10%.

19. Авторами также выполнена оценка роли процессов газогенерации и тепловыделения на пути миграции и возможные масштабы радиоактивного загрязнения. С этой целью была создана численная математическая модель двухфазной миграции на базе известного программного комплекса TOUGH2.

<sup>28</sup> При этом концентрации и время выхода радионуклидов в границы источника загрязнения (контур горных выработок ПГЗРО) определены Заказчиком этого исследования.

<sup>29</sup> Авторы не поясняют, что означают эти качественные определения.



Для определения объемов газогенерации авторы сделали ряд допущений:

- тепловыделение в источнике имеет суммарную начальную мощностью нагрева (при максимально возможном количестве пеналов) 5,3 МВт и подчиняется экспоненциальной функции, затухающей во времени (максимальная температура в ПГЗРО при этом достигается через 55-65 лет после закладки РАО и равна 98°C);
- газогенерация водорода происходит с постоянным массовым расходом  $6,6 \cdot 10^{-6}$  кг/с, т.е. по  $1,83 \cdot 10^{-7}$  кг/с на каждый блок модели (всего за время моделирования 500 лет из ПГЗРО в модельную область вышло  $1,04 \cdot 10^5$  кг водорода в газовой фазе);
- выход радиоактивного газа из ПГЗРО происходит с постоянным расходом  $7,3 \cdot 10^5$  Бк/с в течение всего времени моделирования (1-й сценарий) и в течение 125 лет (2-й сценарий);
- при моделировании двухфазной фильтрации можно пренебречь влиянием капиллярных сил, а считать зависимость между насыщенностью и проницаемостью пород линейной.

Приемлемость этих допущений авторами никак не обосновывается. По этому вопросу требуются дополнительные пояснения.

Отсутствует также информация о значениях и степени достоверности таких параметров, как фазовые проницаемости. Результаты моделирования плохо проиллюстрированы. Все это не позволяет выполнить полноценную экспертную проверку результатов моделирования.

Моделирование показало, что (кн. 2, стр. 122-128, рис. 4.11-4.14):

- газовая фаза распространяется от ПГЗРО в вертикальном направлении, практически не выходя за его периметр в плане;
- примерно за 100 лет ореол нерастворимого водорода (с насыщенностью не более  $10^{-4}$ ) стабилизируется на абсолютной отметке 220 м (на глубине около 200 м от земной поверхности);
- на дневную поверхность газ не выходит (в т.ч. его радиоактивная компонента); он переходит в растворенную форму (в районе ПГЗРО концентрация растворенного водорода достигает  $88 \text{ мг/дм}^3$ );
- масштаб распространения растворенного водорода значительно превышает ореол распространения газовой фазы: в верхних, более проницаемых, частях разреза он вовлекается в движение вместе с подземными водами в преимущественно горизонтальном северо-западном направлении в сторону р. Енисей, где его концентрация превышает  $1 \text{ мг/дм}^3$ ;
- в результате тепловыделения вначале будет наблюдаться постепенный рост температуры (в течение 55-65 лет с момента закладки РАО) до 98°C, который затем сменится плавным снижением (через 700 лет температура пород повсеместно не будет превышать 70°C);
- тепловыделение приведет к заметному преобразованию профиля (инверсии) скоростей вертикальной фильтрации в интервале с абсолютными отметками +40 - +5 м за счет возникновения конвективной составляющей разогретых вод в восходящем направлении; это явление, ввиду его локального характера, не сможет оказать сколько-нибудь значимого влияния на общее время миграции радионуклида от источника до зоны разгрузки.



Эти результаты прогнозов, как и прочие результаты моделирования, носят, конечно, качественный характер. В этом отношении они представляются обоснованными. Вместе с тем, количественные оценки авторов являются, как и ранее, весьма ориентировочными.

20. Общие представления об инженерно-геологическом строении участка, и естественном поле напряжений в рассматриваемом массиве в интервале глубин 400-600 м сформировались на предыдущих этапах. Авторы сообщают, что эти представления в настоящее время не изменились (кн. 2, стр. 129).

Оценка долговременной безопасности ПГЗРО с учетом влияния температуры, сейсмических и геодинамических воздействий на напряженно-деформированное состояние массива и защитных барьеров объекта выполнена ОАО «ВНИИПромтехнологии» в 2014 г. С этой целью были уточнены данные по ожидаемому объему поступления ВАО (кн. 2, стр. 131-133).

Расчеты удельного тепловыделения и температурного напряжения выполнялись для трех этапов:

- 1) эксплуатация ПГЗРО (до 50 лет с момента начала загрузки ПГЗРО);
- 2) до 1000 лет после закрытия ПГЗРО;
- 3) до 10000 лет после закрытия ПГЗРО.

По результатам этих расчетов авторы сделали вполне обоснованный вывод о том, что «сооружение подземной инфраструктуры ПГЗРО не приведет к изменениям напряженно-деформированного состояния массива, сравнимым с пределами прочности на сжатие и на сдвиг вмещающих пород, в течение периода практического присутствия персонала в горных выработках» (кн. 2, стр. 138).

Результаты изучения инженерно-геологических условий показывают, что они являются в целом благоприятными для сооружения объекта. Однако для окончательного принятия решения авторы рекомендуют выполнить дальнейшее изучение участка.

21. В представленных материалах рассмотрены вопросы, связанные с водоснабжением объекта. Его предлагается осуществлять за счет подземных вод.

Авторы обоснованно считают многоводная река (Енисей) пригодна для целей технического водоснабжения (охлаждения реакторов) (кн. 1, стр. 102). При этом, однако, они не предлагают соответствующих инженерных решений.

При инженерных изысканиях проводились работы по изучению возможности водоснабжения объекта за счет подземных вод. Авторы сообщают, что этот вопрос к настоящему времени не решен (кн. 2, стр. 180).

Вместе с тем, из заключения комиссии по государственной экологической экспертизе следует, что авторы рассмотрели вопрос о водоснабжении объекта за счет подземных вод. Водозабор, состоящий из 7 скважин (5 рабочих и 2 резервных) предлагается разместить в 1,5 км северо-восточнее основных объектов комплекса. Его производительность принята равной 600 м<sup>3</sup>/сут (по 120 м<sup>3</sup>/сут на скважину). Расстояние между скважин составляет 200 м.

Ни каких гидрогеологических расчетов, основанных на результатах геологоразведочных работ, авторы не приводят. Очевидно, что запасы подземных вод предлагаемого водозаборного участка не оценивались и государственная оценка результатов этой оценки не проводилась.



Рекомендуется утвердить оцененные запасы подземных вод в установленном порядке.

22. Предложения по организации санитарно-защитной зоны (СЗЗ) разработаны авторами в соответствии с СП 2.6.1.2216-07 и СанПиН 2.1.1.2361-08. С этой целью была выполнена оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и уровней шума на границе СЗЗ. Расчеты показали, что на границе рекомендуемой СЗЗ приземные концентрации и уровни шума не превысят предельно допустимых значений по уровню загрязнения атмосферного воздуха и по уровню шума. Расчетная граница СЗЗ по радиационному фактору не выходит за границу внешнего периметра физической защиты объекта (ПФЗ).

Кроме того авторами даны предварительные рекомендации по границам горного отвода. Их предлагается установить по границам геологического отвода определенного в лицензии на геологическое изучение с целью оперативного доизучения геологического строения и гидрогеологических условий.

Предложения авторов по границам и размерам СЗЗ и горного отвода представляются обоснованными.

23. Авторами выполнены необходимые оценки, связанные с охраной окружающей среды.

Результаты этих оценок представлены в составе проектной документации на строительство объекта. Основные предложения и выводы авторов сводятся к следующему:

- не допускается сброс загрязненных сточных вод с площадок ПГЗРО в гидрографическую сеть района;
- сброс очищенных и обеззараженных бытовых, а также часть очищенных и обеззараженных ливневых и шахтных стоков будет осуществляться в гидрографическую сеть;
- не ожидается превышения предельно допустимых концентраций на границе СЗЗ и в ближайшей жилой застройке г. Железногорска;
- образование основной массы отходов связано с подземными горнопроходческими работами; предусмотрен вывоз отходов I-III классов опасности с территории предприятия на обезвреживание в специализированные организации, имеющие соответствующие лицензии на обращение с отходами и вывоз бытовых отходов IV-V классов на размещение (захоронение) на объектах размещения отходов;
- перед началом работ осуществляется снятие растительного слоя почвы и складирование их в специально отведенных местах в кавальерах для последующего использования при рекультивации территорий;
- в части охраны недр предусмотрены: вентиляция подземных выработок, закладка выработанного пространства твердеющими смесями, откачка шахтных вод; решения, обеспечивающие условия безопасного ведения подземных работ, маркшейдерское обслуживание и т. д.;
- для предотвращения гибели объектов животного мира запрещается выжигание растительности, хранение и применение ядохимикатов, удобрений, химических реагентов, горюче-смазочных и других материалов, опасных для объектов животного мира и среды их обитания, без осуществления мер, гарантирующих предотвращение заболеваний и гибели объектов животного мира, ухудшения среды их обитания.

Авторами также разработаны рекомендации по ведению экологического мониторинга в областях:



- атмосферный воздух;
- подземные воды;
- поверхностные воды;
- почвы;
- растительный и животный мир;
- радиационный контроль;
- управление отходами;
- рекультивация.

Проработки авторов по охране окружающей среды и их предложения по организации экологического мониторинга являются достаточно полными и соответствуют законодательству и нормативным документам РФ.

### Выводы и рекомендации.

1. На участке «Енисейский» ранее были проведены поисково-оценочные работы с целью оценки его пригодности для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых. Результаты этих работ дважды проходили государственную экспертизу в ГКЗ Роснедра. По результатам оценочных работ экспертиза признала возможным проведение строительства и опытно-промышленной эксплуатации первой очереди захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский», объемом до 110,7 тыс. м<sup>3</sup> на двух эксплуатационных горизонтах – 450 и 475 м, в течение 5 лет с момента начала эксплуатации.

2. Позже (в 2012 г.) руководство ГП «Росатом» приняло решение оценить возможности расширения подземного хранилища до первоначально обозначенных объемов (160 тыс. м<sup>3</sup>). Для оценки возможности такого расширения подземного хранилища потребовалось продолжение оценочной стадии работ (т.е. проведение доизучения). Поэтому постановка работ этого этапа представляется обоснованной.

3. Работы по оценке интервала захоронения, расположенного на абсолютных отметках +5 – -70 м, проводились камеральным путем (на основе данных предыдущих геологоразведочных работ) одновременно с инженерными изысканиями. Основанием для их проведения явилось ТЗ, выданное ФГУП «НО РАО». Анализ представленных результатов данного этапа работ позволяет считать, что задачи, поставленные в этом ТЗ, в целом выполнены.

4. Отчетные материалы, по полноте и качеству в основном отвечают требованиям ГКЗ. Вместе с тем, по ним имеются замечания, перечисленные в экспертном заключении. Материалы представляются достоверными.

5. Гидрогеологическая и инженерно-геологическая изученность территории представляется достаточной для данной стадии. Выбор участка геологического изучения недр и целевых горизонтов возражений не вызывает. Условия этого участка представляются благоприятными для строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов. Участок «Енисейский» по совокупности основных факторов (геоморфологических, геологических, гидрогеологических и т.д.) обоснованно отнесен ко второй группе по сложности условий.

6. В целом работы по оценке интервала захоронения радиоактивных отходов на глубинах 450-525 метров (+5 – -70 м БС) проведены достаточно целенаправленно. Их методика, состав и объем возражений не вызывает.



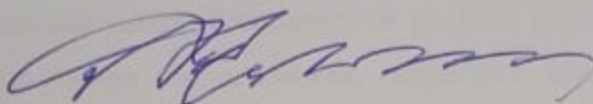
7. Для оценки водопритоков в горные выработки и решения вопросов, связанных с долговременной безопасностью проектируемого объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов была разработана региональная фильтрационная модель территории. Анализ показывает, что эта модель соответствует природному прототипу лишь качественно (полуколичественно) и, следовательно, носит концептуальный и иллюстративный характер. Все численные оценки, полученные авторами на основе этой модели, должны быть признаны сугубо ориентировочными.
8. Оценка расчетного возраста воды выполнена авторами гидродинамическим методом с использованием региональной фильтрационной модели. Эти расчеты выполнены методически правильно. Однако достоверность полученных результатов представляется невысокой. Обусловлено это тем, что миграционные параметры приняты авторами по аналогии и данным единичных лабораторных определений.
9. Оценка абсолютного возраста подземных вод проводилась путем изучения изотопного состава. Обработка данных выполнена авторами методически правильно, без существенных технических погрешностей. Тем не менее, можно согласиться с авторами, что результаты этих исследований оказались малодостоверными.
10. Оценка долговременной безопасности проектируемого объекта выполнена авторами на профильной модели, согласованной с региональной фильтрационной моделью. Авторами прогнозировалась миграция десяти радиоизотопов. При моделировании учитывалась сорбция и естественный радиоактивный распад. Обоснованность результатов этих прогнозов с качественной точки зрения не вызывает сомнений. Однако представленные количественные оценки являются сугубо ориентировочными. Это, прежде всего, связано с низкой достоверностью миграционных параметров, принятых по литературным данным и единичным лабораторным определениям. Тем не менее, эти оценки дают ориентировочное представление о порядке прогнозируемых величин.
11. С помощью численной математической модели двухфазной миграции авторами выполнена оценка роли процессов газогенерации и тепловыделения на пути миграции и возможные масштабы радиоактивного загрязнения. Результаты прогнозов, как и прочие результаты моделирования, носят качественный характер. Количественные же оценки авторов представляются сугубо ориентировочными.
12. Для оценки долговременной безопасности ПГЗРО авторами выполнены также расчеты удельного тепловыделения и температурного напряжения. По результатам этих расчетов авторы сделали вполне обоснованный вывод о том, что сооружение подземной инфраструктуры ПГЗРО не приведет к существенным изменениям напряженно-деформированного состояния.
13. Вопросы водоснабжения объекта при его строительстве и эксплуатации к настоящему времени полностью не решены. Предложение авторов по водоснабжению объекта за счет подземных вод заслуживают внимания. Однако для этого необходимо выполнить оценку запасов и представить соответствующие геологические материалы на государственную экспертизу в установленном порядке.
14. Предложения авторов по границам и размерам СЗЗ и горного отвода представляются обоснованными.
15. Проработки авторов по охране окружающей среды и их предложения по организации экологического мониторинга являются достаточно полными и соответствуют законодательству и нормативным документам РФ.



16. Следует признать, что по своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям участок «Енисейский» является пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-525 м.;

17. Рекомендуется признать возможным проведение строительства и опытно-промышленной эксплуатации первой очереди захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский», объемом до 160 тыс. м<sup>3</sup> на двух эксплуатационных горизонтах – 450 и 525 м, в течение 5 лет с момента начала эксплуатации;

Эксперт ГКЗ



А.А. Рошаль



## Экспертное (геофизическое) заключение по работе:

«Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка «Енисейский» для обоснования расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450-525 метров (+5 – -70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив)».

Отв. исполнители:

КАРАУЛОВ В.А.; ЗАБЛОЦКИЙ К.А.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Цель работ – комплексная геологическая, гидрогеологическая, и инженерно-геологическая оценка интервала захоронения радиоактивных отходов на глубине 450-525 метров (+5 - -70 м БС) на участке «Енисейский» Нижне-Канского массива для обоснования строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов.

В 2012 году выполнены и приняты ГКЗ Роснедра геологоразведочные работы для оценки участка захоронения на глубинах 450-475 м. Учитывая достаточно большой объем различных работ, выполненных на предшествующих этапах работ, а также наличие положительного решения ГКЗ Роснедра по оценочной стадии 2010-2011 гг. (протокол от 13.04.2012 № 2755-пс), авторы сформулировали следующие принципы проведения работ по оценке расширения целевого интервала от отметок 0–(-25) м до отметок +5 – (-75) м.

«В связи с большой глубиной залегания целевого горизонта (450-525 м) и большой глубиной исследований (700 м), в качестве основных материалов, положенных в основу оценки, были приняты результаты, полученные при бурении десяти поисково-оценочных скважин и увязанными с ними четырьмя гидрогеологическими скважинами в двух кустах и шести изыскательских скважин. Во всех упомянутых выработках был выполнен полный комплекс геофизических каротажных работ, а также поинтервальные опытно-фильтрационные работы через 10-50 м. Дополнительно проведены инженерные изыскания и исследовательские работы, с учетом глубин захоронения 450-525 м».

На территории участка строительства объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов, развиты мигматизированные гнейсы и кристаллические сланцы атамановской серии канского метаморфического комплекса архея, два комплекса секущих даек основного состава позднеархейского и раннепротерозойского возрастов и современные элювиально-делювиальные отложения.

Большой комплекс исследований, (2013-2014 гг) рассматриваемый в данном отчете, по мнению авторов, не внес никаких существенных изменений в представления о геологическом строении участка по сравнению с 2010-2011 гг., с



чем экспертизе трудно согласиться, поскольку были сделаны существенные дополнения за счёт проведения более детальных магниторазведочных работ и получения результатов их интерпретации в варианте анизотропной магнитной геотомографии, позволившей изменить глубинные параметры и объёмы объекта, а также продолжено изучение сейсмической активности района строительства и др..

Автор данной экспертизы рассматривал результаты работ на ранних этапах прохождения работы в ГКЗ (протокол от 13.04.2012 № 2755-пс) по оценочной стадии 2010-2011 гг. На этом этапе в экспертизе были сделаны отдельные редакционные, методические замечания в части проведения геофизических работ и выбора комплекса методов. Дополнительно, на этом этапе, была проведена магнитная съёмка по сети 25x5 м. и использована при интерпретации данных технология анизотропной магнитной геотомографии по созданию объёмного томографического изображения массива на площади 3.0 кв. км (А.В.Петров и др.);

Полученные результаты позволили более достоверно определить субвертикальное падение пород дайкового комплекса и зон тектонических нарушений в верхней части геологического разреза (ВЧР), установить их замыкания, что и показано на горизонтальных геомагнитных срезах (рис. 1.4 кн.1). На этих срезах действительно на глубинах от 300-350 метров выделенные тектонические зоны и породы дайкового комплекса выклиниваются и не достигают глубин целевого горизонта. Это обстоятельство позволяет согласиться с тем, что в нижней части разреза сплошность массива по этим результатам почти не нарушена. Последнее сомнение связано с тем, что для уверенного проведения полосовой фильтрации надо иметь несколько большую матрицу чисел, превышающую размеры площади детальной магнитной съёмки, однако тенденция ненарушенности массива на глубину в динамике явная.

Ранее, на оценочном этапе работ было проведено бурение семи разведочных и четырёх гидрогеологических скважин, которые исследовались комплексом ГИС для изучения геологического строения, проницаемости горных пород в массиве и при опытно-фильтрационных работах. С учетом трех скважин, глубиной по 700 м каждая, пробуренных на поисковой стадии, суммарный объем буровых и сопутствующих им ГИС соответствует грамотному уровню изучения площади на рассматриваемой стадии.

Авторы, по совокупности принципов ведения работ для расширения целевого интервала от отметок 0–(-25) м до отметок +5 – (-75) м для геофизики использовали:

а) результаты, полученные при бурении десяти поисково-оценочных скважин с увязанными с ними четырьмя гидрогеологическими скважинами в двух кустах и шести изыскательских скважин. Во всех упомянутых выработках был выполнен полный комплекс геофизических каротажных работ, а также поинтервальные опытно-



фильтрационные работы через 10-50 м. Представленные каротажные цифровые диаграммы отличаются высоким качеством оформления и содержат информацию по методам ГК, ГГК, КС, ПС, КМ, КМВ, ИК, резистивиметрии и расходомерии, инженерно-геологические колонки (текстовые приложения кн.№ 3). По керну скважин выделяются породы дайкового комплекса, однако по каротажным кривым это можно сделать лишь качественным образом по данным ГК, ГГК и КМВ. К сожалению, в тексте кн.1 отсутствует раздел по интерпретации каротажных диаграмм, и их интерпретация была бы более предметна с использованием классификационных процедур. В частности, не понятен интерпретационный вариант интерполяции пород дайкового комплекса в межскважинном пространстве, тем более в виде силлоподобных межпластовых пологозалегающих объектов. В результатах анизотропной магнитной геотомографии преимущественное залегание даек и зон тектонических нарушений субвертикальное, причем дайки бронируют рельеф, а зоны тектонических нарушений понижения в рельефе. Эта неоднозначность, в большей мере, связана с использованием традиционных субъективных принципов интерпретации, поэтому приоритет следует отнести к результатам воспроизводимой магнитной геотомографии.

На начальном этапе работ главными сопутствующими видами были выбраны площадные геофизические работы: магнитометрическая съемка, вертикальное электрическое зондирование и сейсморазведка МОГТ 3D. Последняя была выполнена на основе субподряда ведущей специализированной геологической организацией Среднесибирского региона – ОАО «Енисейгеофизика».

Принятый комплекс методов, по мнению экспертизы, нельзя считать рациональным, а применительно к поставленным целевым задачам были сделаны методические ошибки в выборе масштаба и сети съёмки в магниторазведке, которая далее была реализована в более детальном масштабе.

Слишком густа и затратна сеть, принятая в методе ВЭЗ. Качество интерпретации полученных данных вполне удовлетворительное.

Выбранная модификация сейсморазведки (МОГТ), как считают сами исполнители имеет невысокую достоверность при исследованиях небольших глубин (раздел 3.1.5 кн. 2 предыдущего отчёта). Сеть «разрывных нарушений», выделенная по данным атрибутивного анализа в целевом интервале небольших глубин участка (0...330 мс или 0...700 м), в общем, не нашла подтверждения при бурении разведочных скважин. Вместе с тем, сейсморазведка подтвердила:

- отсутствие мощных бесспорных и активных тектонических разрывов в массиве пород Енисейского участка и на его ближайшей периферии;
- выявила нижнюю границу атамановской метасерии архея (ОГ-2), на глубинах - 1800...-1900 м (примерно на 1,5 км глубже целевого интервала). Этот результат действительно подтверждает большие вертикальные размеры геологической формации,



выбранной для окончательной изоляции РАО, и ее возможно стабильное состояние. Выделение зоны деструкции также подтверждает более высокую пригодность южной части Енисейского участка для подземного строительства и эксплуатации объекта ПЗРО.

Описание геофизических работ (раздел 2.3.1 кн.1) содержит полную информацию о методике наземных работ, применяемой аппаратуры, точности работ. Недостаёт только метрологической информации, особенно методов ГИС в виде: сертификатов приборов и эталонов, градуировки приборов, актов периодических проверок, вплоть до измерений длины каротажного кабеля (см. требования ГКЗ по геофизической экспертизе).

Погрешность магнитной съёмки оценена по контрольным наблюдениям, которые выполнены на всех профилях рядовой съёмки. Сведения о точности выполненных работ приведены в таблице 2.2 и они достоверны.

Геофизическими исследованиями в скважинах решались следующие задачи:

- а) расчленение разреза скважин на основные литологические разности,
- б) изучение гидрогеологических условий (выделение интервалов водоносных горизонтов и определение мест водопритока или водопоглощения),
- в) определение пространственного положения стволов скважин.

Исходя из поставленных задач, применялся следующий комплекс методов ГИС: гамма каротаж (ГК); гамма-гамма каротаж плотностной (ГГК-П); каротаж сопротивлений (КС); (ПС); кавернометрия (КВ); резистивиметрия; расходометрия и инклинометрия.

В некоторых скважинах выполнен каротаж магнитной восприимчивости (КМВ). Этот вид ГИС добавлен в комплекс сверх программы – для более обоснованной интерпретации материалов наземной магнитной съёмки. В основу интерпретации положено различие по физическим свойствам горных пород по данным ГИС. Критерии литологического расчленения даны в таблице физических свойств (Табл. 2.3.)

По данным расходометрии и резистивиметрии определялись водоносные горизонты и дебит водопритока (водопоглощения).

Результаты ГИС представлены в виде графических приложений, которые включают геологический разрез по документации скважин, разрез, уточнённый по данным ГИС и графики физических полей по всем параметрам.

Текстовая часть данного ТЭО содержит методические сведения о объемах, сетях съёмок, применяемой аппаратуры, контрольными оценками точности работ данными методами, причём качество изложения нормальное, изложение геофизического раздела в данном ТЭО профессиональное и значительно лучше, чем в предыдущих вариантах. Следует только привести результаты метрологии методов ГИС к рабочему обсуждению в ГКЗ, поскольку они отсутствуют в отчёте.



Табл. 6.1 в кн.1 никакого отношения к метрологии ГИС не имеет.

Ранее экспертизой было рекомендовано проведение высокочастотной сейсморазведки, разрешающей ВЧР, с целью подтверждения выводов о затухании трещиноватости горных пород на глубинах более 250 м, однако в работе её результаты не показаны, лишь только даётся ссылка на отчет.

Выводы по сейсмической активности глубоких отражающих горизонтов ОГ-1, ОГ-2 следует учесть при проведении детального сейсмического районирования территории строительства ПЗРО. Экспертиза подчёркивает сложность решения данной проблемы и считает необходимым проведение обстоятельного обоснования способов исследований на стадии «рабочий проект».

Расчетная сейсмичность площадок вентиляционного, технологического и вспомогательного стволов по данным проведенных инженерно-геологических изысканий оценивается как для объектов повышенной ответственности и особо ответственных, с учетом наличия грунтов III категории по сейсмическим свойствам для ПЗ (проектное землетрясение) – 7 баллов, для МРЗ (максимальное расчетное землетрясение) – 8 баллов. По данным актуализированных карт ОСР-97 2012 г. объект ПЗРО отнесен к зоне с балльностью 7,3.

Авторы также указывают, что «Для архейских скальных пород, распространенных в районе, имеется положительный опыт строительства и эксплуатации подземных сооружений. В подземных выработках внутри скального массива был размещен и успешно эксплуатировался на протяжении полувека огромный транспортно-промышленный комплекс, включающий три атомных реактора, изотопно-химический завод, подъездные пути, склады сырья и продукции, а также выемки для размещения ОЯТ. Протяженность транспортных тоннелей внутри горы измеряется многими километрами. Камеры для реакторов имеют гигантские размеры, их высота превышает 70 м. За все время эксплуатации в выработках внутри «горы» не отмечались горные удары, сдвигения или смещения пород, гравитационные процессы, природная загазованность и другие опасные процессы и явления». Перечисленная благоприятность состояния объекта соответствует 60 летнему периоду эксплуатации, однако более длительная ретроспектива сейсмических событий была бы также полезной, для площади, имеющей более чем семибальную сейсмическую активность (в плане миграции очагов землетрясений на площади).

Авторы, ссылаясь на фондовые отчёты сообщают, что на заключительной стадии работ по оценке долговременной безопасности оценивалось воздействие землетрясений на ПЗРО [125ф]. Интенсивность сотрясений земной поверхности на участке «Енисейский» вычисляли от каждого виртуального очага в отдельности в районе размещения ПЗРО, его размера и закона затухания сейсмических сотрясений с расстоянием. Расчеты производили для каждого узла квадратной сетки, покрывающей с



определенным шагом всю исследуемую территорию (в ОСР-97 принят шаг  $25 \times 25 \text{ км}^2$ , в данных исследованиях по ДСР (Уточнение модели зон ВОЗ М 1:500 000 и крупнее вместо 1:2 500 000 при ОСР-97) он уменьшен до  $0,1 \times 0,1 \text{ км}^2$  и менее). Затем, «опрашивая» каждый из виртуальных очагов и учитывая затухание сейсмического эффекта с расстоянием, для каждого узла сетки создавали гистограмму, нормированную на заданное время  $T$ , частоты  $N$  проявления той или иной сейсмической интенсивности  $I$ . Гистограммы были основой для расчетов и последующей оценки периодов повторяемости сейсмических воздействий разной бальности и сейсмической опасности. Не имея других вариантов, виртуальная оценка может быть признана экспертизой с малой долей вероятности сейсмической опасности.

В ходе работ выполнена оценка сейсмического режима района, включающего 300 км зону вокруг ПГЗРО, при этом использовались три каталога сейсмических событий различных организаций. Кроме того, в рамках данной работы проведены наблюдения за сейсмическими полями в радиусе 10 км от площадки, что позволило получить дополнительные материалы для оценки сейсмического режима.

Уточнение сейсмической опасности площадок ПГЗРО выполнено двумя методами: инженерным – в соответствии с требованиями РБ-019-01 и методом вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) на основе методики ОСР-97 (Институт Физики Земли РАН; профессор, д.ф.-м.н. В.И. Уломов) с применением программного комплекса EAST-2003. Были смоделированы зоны ВОЗ для ближней (0-30 км) и дальней зоны (30-300 км) и выполнена оценка максимальной магнитуды  $M_{\max}$  локальных зон ВОЗ.

Оценка максимальной интенсивности, выполненная с учетом модели затухания ОСР-97, показала, что значимыми для оценки параметров сейсмических воздействий на площадку являются максимальные землетрясения в Муратовском, Атамановском, Канско-Атамановском, Шумихинском ВОЗ. При максимальных землетрясениях  $M_{\max}$  в этих зонах интенсивность на площадке может достигать 7 баллов по шкале MSK-64 в привязке к средним грунтам.

По результатам комплексных исследований уточнены карты-схемы сейсмического микрорайонирования наземных площадок ПГЗРО в масштабе 1:5 000, отражающие расчетную интенсивность  $I_{\text{msk}}$  сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK-64 (Рис. 1.17 кн.1), пиковые ускорения грунта, длительность воздействия, преобладающие периоды колебаний, тип спектральной характеристики.

Установлено, что интенсивность сейсмических сотрясений на уровне размещения подземных выработок ПГЗРО на 1 балл меньше, чем на поверхности, а также выполнена сравнительная оценка интенсивности сотрясаемости внутри массива горных пород и на поверхности. Для слабых землетрясений (взрывы) по сравнению с дневной поверхностью, представленной грунтами второй категории, во внутренних



точках геологической среды исследуемых подземных объектов сейсмическая сотрясаемость на 1 (один) балл по шкале MSK-64 ниже. Для сильных сотрясений снижение уровня сейсмических колебаний во внутренних точках среды составит более одного балла.

Сделан вывод, с которым согласна экспертиза -«Таким образом, при консервативном подходе для подземных выработок объекта ПГЗРО сейсмическая сотрясаемость (интенсивность) составит 7 баллов для карты ОСР-97Д (МРЗ) и 6 баллов для карты ОСР-97В (ПЗ)».

Статистическая обработка микросейсмических данных показала отсутствие заметной сейсмической активности в районе площадки ПГЗРО, что подтверждает выводы авторов об отсутствии активных разломов на исследуемой территории.

«Выполненный анализ данных наблюдений за движениями земной коры с использованием глобальных навигационных спутниковых систем, проведенный в этом районе за период времени с 2010 по 2014 гг., показал, что среднегодовые скорости изменения длин базисных линий длиной от 1,5 до 20 км заключены в интервале от 0 до 7 мм/год. Учитывая паспортную точность GPS-приемников ( $СКО=5 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм} \times L$ , где  $L$  – расстояние между пунктами), полученные первичные данные с методической точки зрения представляются достаточно надежными для последующей оценки современной тектонической активности района и амплитуд горизонтальных движений структурных блоков на участке «Енисейский».

В целом, с выводами на основе консервативного подхода и определениями отсутствия активных разломов на площади массива и нижеследующей фразы экспертиза согласна.

На основе наблюдений были сделаны выводы о том, что на южной части района исследования интегральное направление деформаций растяжения доминирует в направлении СЗ-ЮВ, а сжатие соответствует ортогональному направлению с СВ на ЮЗ.

Поскольку авторы приводят выводы из фондового отчёта и учитывая уникальность объекта строительства экспертиза, все же, может согласиться с разумностью выбранной методики, по бальной оценке сейсмичности, т.к. других методик просто нет.

Фактическое детальное сейсмическое районирование (ДСР) и микрорайонирование (СМР) площадок строительства наземных сооружений ПГЗРО выполнены в НП «ЭЦ РОПР» с помощью МПВ, ВСП, гамма-гамма каротаже (ГТК), регистрации слабых землетрясений и взрывов, материалов по регистрации сильных землетрясений, регистрации микросейсм, а также определения характеристик затухания и поглощения сейсмических волн в грунтах рассматриваются в отчёте [139ф], а схема распределения бальности показана на рис 1.16 в кн. 1. «Приведенная в отчете [125ф] консервативная оценка исходной сейсмичности площадок строительства наземных



сооружений ПЗРО включает в себя учет возможного влияния 65 природных тектонических разломов, в том числе 19 – в ближней зоне от центра общей площадки строительства ( $R_{ЭЦ}=30$  км) и 60 – в дальней зоне ( $R_{ЭЦ}=300$  км).»

В ООО «Центр геодинамических исследований» (г. Москва) сейсмоакустическим методом выполнены исследования напряженного состояния массива пород на глубинах от 450 до 600 м.

Экспертиза считает необходимым в дальнейших отчётах приводить результаты, хотя бы, в самом общем виде, и избегать приведение подобных констатаций в работе, к которой привлекались многочисленные её авторы.

В работе показаны результаты переинтерпретации материалов детальной магниторазведки (раздел 3.1.6), где решались следующие задачи (по Петрову А.В.):

- а) выявление зон разрывной тектоники в верхней части геологического разреза по площади и по глубине до 500 м;
- б) глубинное картирование дайкового комплекса (долеритов, диабазов и диабазовых порфиритов), оценка их мощности и протяжённости на глубину;
- в) создание объёмного анизотропного томографического куба до целевых глубин предполагаемого строительства сооружения в 500 м по магнитным данным.

В настоящем отчёте, автором-геофизиком, анализировались трансформированные карты магнитного поля, сведённые, в конечном итоге в одну с помощью, так называемого «линейного элемента». Автор этих преобразований к ним относит: оси аномалий различного уровня локализации, направления прямолинейных простираний изолиний, линии смещений осей аномалий и их торцевых сочленений, и т.д. Считается, что линейные элементы такой единой карты будут отображать:

- литологические границы (границы, на которых резко меняется намагниченность геологических образований);
- разрывные нарушения различных рангов;
- линейные интрузивные тела малой мощности (дайки разных генераций);
- линии смещения литологических границ, интрузивных тел, разрывных нарушений.

К сожалению, в тексте отчёта автор не говорит о использовании результатов томографии (по А.В. Петрову) и в этой связи безусловно необходимы пояснения в части:

- Каким образом отображаются литологические границы в представленном, неформализованном виде ?, Экспертиза считает, что разрез не расчленен объективным образом, и это касается стратифицированных кристаллических сланцев атамановской серии канского метаморфического комплекса архея;

- Имеется ли добротная легенда геологической документации и как соотносятся с ней магнитные маркеры, которые в принципе могли бы формализовать и геологическую



составляющую в информационной цепочке с мерой и кодом ?. Следует отметить, что в результатах КМВ стратифицированных магнитных маркёров не наблюдается, а горные породы в инженерно-геологических колонках включают только два класса пород: нерасчленённые гнейсы и породы дайкового комплекса (см. документацию керна в скв. скв. 11-12-13). На рис. 2.1 в кн. 1 в колонке также показаны гнейсы и дайки.

- Насколько хорошо проанализирован комплект имеющихся геологических карт на территории массива и насколько они сопоставимы в материалах разных авторов. В составе атамановской метасерии доминируют силлиманит-гранат-кордиеритовые и гранат-биотитовые гнейсы и биотит-кордиеритовые кристаллические сланцы (сомнительно, что только одна разновидность?). Видимая мощность канского метаморфического комплекса 4000-4500 м.

- Существуют ли единообразны ли легенды геологической документации у разных специалистов, работавших на данной территории?

Возникает вопрос по рисунку (прил. 5), связанный с наличием полого залегающих силлоподобных даек и их интерполяция в межскважинном пространстве, что противоречит полученным результатам анизотропной магнитной геотомографии. Автор отдельно не показывает эти рабочие карты (каким образом они построены - качественно или с использованием соответствующих программ).

Вывод, о достаточно объективной схематической геологической карте также спорен. Грамотное решение по расчленению горных пород может быть достигнуто с использованием документации опорных геологических разрезов и созданием формализованной легенды геологической документации, по материалам (имеющейся документации керна скважин, поверхностных горных выработок, коренных выходах горных пород, изучением шлифов и т.д) и, в обязательном сопоставлении, с результатами наземных (и аэромагнитных) высокоточных магниторазведочных работ разного масштаба и другими геофизическими методами.

Экспертиза рекомендует автору раздела ознакомиться с алгоритмами системы Коскад-3 д, в которой можно реализовать получение ДАКФ в окнах «живой формы» и ВКФ, провести межпрофильную корреляцию и продолжить на глубину линейные трассы по трем разно уровенным картам, а затем сопоставить с томографическими горизонтальными срезами (рис. 1.4 кн. 1). Исключение суперпозиции полей достигается с помощью томографической технологии на основе использования градиентных характеристик и дельта функции, повышающей на порядок эффективность адаптивной фильтрации. Следует также учесть, что зоны разрывной тектоники не всегда линейны, в объёме часто имеют другие, не линейные и меняющиеся формы в зависимости от свойств вмещающей среды. В принципе проведенная интерпретация полезна, но её следовало увязать с результатами магнитной томографии.

**Таким образом по представленной работе следует сделать следующие выводы:**



1. Выполнен полный комплекс геофизических каротажных работ, на десяти поисково-оценочных скважинах и увязанных с ними четырьмя гидрогеологическими скважинами в двух кустах и шести изыскательских скважин. С целью уточнения местоположения зон тектонических нарушений и пород дайкового комплекса проведена детальная магнитная съёмка и интерпретация по технологии анизотропной геомагнитной томографии недр. По этим результатам, принято решение о увеличении размеров объекта на глубину и объёмов РАО для захоронения.
2. Экспертиза признает удовлетворительное качество проведения геофизических работ и результаты анизотропной магнитной геотомографии, которые позволили уточнить геологические условия на уникальном объекте захоронения РАО и подземной лаборатории и безопасность глубинного участка строительства, с точки зрения отсутствия обводнённости и зон тектонической нарушенности.
3. Статистическая обработка микросейсмических данных показала отсутствие заметной сейсмической активности в районе площадки ПГЗРО, а также влияние активных разломов на сейсмичность территории. Выводы по сейсмической активности глубоких отражающих горизонтов ОГ-1, ОГ-2 следует учесть при проведении детального сейсмического районирования территории строительства ПЗРО. Виртуальная оценка сейсмической опасности может быть также признана с малой долей вероятности событий.

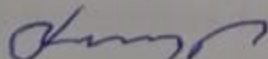
Вывод о том, что «при консервативном подходе для подземных выработок объекта ПГЗРО сейсмическая сотрясаемость (интенсивность) составит 7 баллов для карты ОСР-97Д (МРЗ) и 6 баллов для карты ОСР-97В (ПЗ)» можно считать обоснованным.

Экспертиза подчёркивает сложность решения данной проблемы по глубоко залегающему объекту строительства и рекомендует проведение обстоятельного заключения на стадии обоснования рабочего проекта.

Экспертиза также считает необходимым, в дальнейших отчётах, приводить полученные многочисленными авторами результаты, хотя бы, в самом общем виде, и не делать только ссылки на фондовые работы.

По запросу экспертизы присланы полные метрологические документы, касающиеся ГИС, паспорта сейсмоприёмников, использовавшиеся в методе МОВ-ОГТ, сертификат протонного магнитометра и его поверки.

Эксперт



Демура Г.В.



6  
 К протоколу ГКЗ № 4523-ПК  
 от 03.02.2016 г.  
 ДСТ. МЕНО  
 ПОТАШЕНО

### ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПО ОТЧЕТУ: «ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДОИЗУЧЕНИЕ (ОЦЕНОЧНАЯ СТАДИЯ) ГОРНОГО МАССИВА УЧАСТКА «ЕНИСЕЙСКИЙ» ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАСШИРЕНИЯ ИНТЕРВАЛА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ДО ГЛУБИН 450-525 МЕТРОВ (+5 – (-70) м БС) ОБЪЕКТОВ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ, НИЖНЕ-КАНСКИЙ МАССИВ)»

ФБУ «ГКЗ» 10.02.2012 г. провела экспертную оценку материалов отчета по «Геологическое исследования (оценочная стадия) объекта окончательной изоляции радиоактивных отходов на Нижне-Канском массиве (участок «Енисейский»)», представленным ФГУП «Горно-химическим комбинат».

Представленные материалы относились к объекту окончательной изоляции РАО (далее по тексту ООИ РАО) на участке «Енисейский» в интервале глубин 450-475 м.

По результатам экспертной оценки были сделаны следующие выводы:

- По своим геологическим, гидрогеологическим, тектоническим и сейсмическим условиям участок «Енисейский» является пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в архейских гнейсах Нижне-Канского массива в целевом интервале глубин 450-475 м.

- Признать возможным проведение строительства и опытно-промышленной эксплуатации первой очереди захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский», объемом до 110,7 тыс. м<sup>3</sup> на двух эксплуатационных горизонтах – 450 и 475 м в течение 5 лет с момента начала эксплуатации.

1. В соответствии с «Методическими рекомендациями по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых» отнести участок «Енисейский» по степени изученности к группе оцененных.

2. На площади всего участка «Енисейский» выполнить разведочные работы, в ходе которых недропользователю необходимо провести:

- геологическое картирование и составить карту поверхности участка с целью наиболее точного выявления тектонических нарушений;
- более детальную высокоточную цифровую с привязкой GPS магнитную съемку по сети 25×5 м на участке строительства, с созданием объемной модели массива;



Следует отметить, что в отчете приведены сокращенные характеристики природных условий и результатов работ, вошедших в состав материалов предыдущего отчета по оценочной стадии и не претерпевших существенного изменения. В целом, отчет содержит все обязательные структурные элементы и копии документов, регламентируемые государственными и ведомственными нормативными документами. Уже на основе предварительного ознакомления можно уверенно заключить, что в отчете проработан очень большой фактический материал и результаты научных исследований, на котором основаны выводы авторов в отношении целей изучения и оценки изоляционных свойств геологической среды.

В техническом (геологическом) задании (5 стр.) четко сформулированы задачи исследований, нормативные документы, которыми руководствовались авторы отчета, методы решения геологических задач и ожидаемые результаты.

Во введении (8 стр.) приведены постановления правительства РФ, в соответствии с которыми проводятся работы, рассмотрены цели создания подземного объекта, изложены требования к участкам захоронения, результаты рассмотрения ранее выполненных работ, указаны организации и исследователи, выполнявшие различные работы. Данный раздел вполне соответствует общепринятым стандартам.

В первой главе даны общие сведения о подземном сооружении, районе работ и участке, изученном для использования в намеченных целях.

Разделы 1.1 и 1.2 посвящены анализу изученности участка, непосредственно связанной с намечаемым строительством объекта. Проанализирован весьма впечатляющий своим разнообразием и детальностью объем работ. Уже после экспертизы материалов оценочной стадии в ФБУ ГКЗ и получения положительной оценки пригодности участка для намеченного использования, оценочная стадия (в составе инженерных изысканий) была продолжена в связи с расширением интервала захоронения. Следует отметить, что при проведении изысканий и научно-исследовательских проработок, значительная часть объема работ была направлена именно для оценки долговременной безопасности проектируемого сооружения. Большая часть выполненных при инженерных изысканиях работ соответствует более высокой стадии изучения, чем оценочная. В целом подразделы изложены обстоятельно и дают полное представление о состоянии изученности участка для его использования, а также основных его характеристиках с точки зрения пригодности для намеченных целей. Обращает на себя внимание то



обстоятельство, что детально изучалась площадь, примыкающая к намеченной площадке строительства ООИ РАО и наземных сооружений, тогда как на путях миграции нуклидов практически отсутствуют фактические данные.

В разделе 1.3 форме приведены сведения о физико-географических и техногенных условия площадки строительства. Особое внимание уделено описанию радиационного состояния площади и недр. Эта информация крайне необходима для оценки влияния на экологическую обстановку подземного хранилища в будущем. Значительную уверенность в устойчивости будущего подземного хранилища придают данные о высокой прочности гигантских подземных выработок радиохимического завода, функционирующего более 50 лет. Детальную характеристику описываемых условий можно посмотреть в рабочих материалах. В целом же подраздел написан грамотно и дает полное представление об экологическом состоянии площадки, каких-либо замечаний не вызывает.

Раздел 1.4 посвящен характеристике геологической среды района в масштабе 1:200000. Следует сразу отметить, что район, в региональном геологическом отношении изучен слабо, особенно это касается гидрогеологических условий. Основным фактором, определяющим малую степень геологической изученности, является значительная мощность наносов. Расхождения касаются не столько стратиграфического расчленения горных пород, сколько границ их распространения. Концепция геологического строения была разработана авторами еще на первых этапах изучения рассматриваемого объекта и с тех пор, несмотря на большой объем выполненных буровых и геофизических работ, претерпела незначительные уточнения, что в целом, подтверждает ее достоверность. В целом, следует признать, что приведенный материал позволяет получить достаточно ясную картину о положении исследуемого участка в геолого-тектонической структуре массива.

Несколько затрудняет рассмотрение гидрогеологических условий района отсутствие информации, в составе отчета, о распространение подземных вод в районе, примыкающем к изученной площади. Справедливости ради следует отметить, что имеющийся фондовый материал по обводненности смежных площадей крайне скуден и не позволяет выполнять достоверные картографические построения. Приведенная в отчете характеристика гидрогеологических условий позволяет сделать вывод о слабой обводненности верхней части разреза распространенных в массиве пород, и практической водонепроницаемости разреза на глубине свыше 150 м. Учитывая рельеф



местности можно с уверенностью исключить существование регионального транзитного подземного потока на глубине расположения подземного сооружения.

Краткая характеристика инженерно-геологических условий позволяет получить общее представление о современных геодинамических процессах.

В разделе 1.5 приведены констатирующие данные по определению сейсмичности территории, выполненные в ходе составления проектной документации на строительство объекта. Рассмотрение материалов возражений по поводу определения сейсмичности не вызывает.

В разделе 1.6 приведен убедительный материал в отношении устойчивости огромных по количеству и объему подземных горных выработок заводов ГХК, свидетельствующий в пользу обоснованности выбора места для хранилища РАО.

В главе 2 «Методика и технология проведения геологоразведочных работ и их результаты» представлена методика и объемы выполненных основных видов оценочных, аналитических и камеральных работ. Определены задачи оценочной стадии геологоразведочных работ и соответствие их нормативным правовым и методическим документам. Особое внимание уделено видам работ, имеющих определяющее значение: буровые работы, комплекс каротажных исследований, опытно-фильтрационные работы. Сопутствующие виды работ включали площадные геофизические исследования – магнитометрическую съемку, ВЭЗ, сейсморазведку МОГТ 3D, специальные исследования по изучению напряженного состояния пород, сорбционной емкости и теплофизических свойств, по определению модельного возраста подземных вод, GPS-наблюдения за современными тектоническими подвижками массива.

Комплекс методов достаточен для решения задач оценочной стадии, однако количество керновых проб представляется завышенным (табл. 2.9). Хотя исследования по удароносности массива по методу дискования керна скважин не получили количественной интерпретации. К сожалению, в отчете отсутствует фотодокументация керна скважин, хотя бы заданного интервала глубин. Положительным обстоятельством можно считать наличие в главе основных результатов определения исходных параметров.

Глава 3 является наиболее крупным в составе отчета и посвящена характеристике и оценке структурно-тектонических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий участка с точки зрения использования его по намеченному назначению.



Раздел 3.1 посвящен особенностям геологического строения участка. Как отмечено в отчете основные представления о геологическом строении участка были сформированные в 2010-2011 гг. и большой комплекс исследований и изысканий, выполненный в 2013-2014 гг. не внес существенных изменений в представления. Тем не менее, в отчете представлены все свойства массива, представленные в предыдущих отчетах с дополнениями по вновь полученным материалам, что неоправданно завышает объем представляемого на рассмотрение отчета. Следовало бы основное внимание уделить только выявленным измененным параметрам, и сравнить их с имеющими данными, что и было предпринято в подразделе 3.1.5 при оценке целевого интервала. В целом же дополнительные исследования позволяют более уверенно утверждать, что «Коренные породы всего массива и целевого интервала обладают благоприятными физико-механическими свойствами, однородной структурой и низкой трещиноватостью». Большинство выявленных в массиве трещин «залечены» новообразованными минералами. Интерпретация материалов крупномасштабной магнитной съёмки на основе программного комплекса «КОСКАД 3D» (раздел 3.1.6) уточнила сложившееся представление о геолого-тектоническом строении участка, показала затухание тектонических дислокаций по мере увеличения глубины и практически полное отсутствие тектонических дислокаций на проектной глубине строительства ООИ. Изучение особенностей пространственного размещения зон трещиноватости следует заверить полевым методом микросейсмического зондирования (ММЗ).

Бурение глубоких скважин на площади расположения ООИ РАО не проводилось во избежание нарушения сплошности массива, что весьма разумно с позиций долговременной и экологически безопасной изоляции РАО в недрах.

Для вопросов, связанных с сооружением и эксплуатацией подземного хранилища очень важен раздел 3.2 посвященный гидрогеологическим условиям в области взаимодействия объекта с геологической средой. Раздел включает оценку проницаемости, водоносности дизъюнктивных нарушений, направления движения подземных вод, их состава, расчет водопритокков, гидравлической связи водопроводящих зон. Много внимания уделено показателям проницаемости геологического разреза, их анизотропии. По этому показателю геологическая среда является подходящей для подземных хранилищ в кристаллических породах. Наблюдения над уровнями подземных вод подтверждают наличие гидравлической разобщенности между отдельными блоками участка, особенно в вертикальном направлении, что является важным барьером на путях миграции.



Сравнительный анализ химического состава подземных вод ранее оцененного и представленного на рассмотрение интервалов изоляции РАО подтверждает отсутствие гидрохимической зональности. Воды глубоких скважин характеризуются восстановительной обстановкой, что косвенно подтверждает отсутствие прямой гидравлической связи целевого интервала с поверхностью.

Гидродинамические условия непосредственно на участке представляются изученными, однако следует отметить, что представленный материал, полученный в ходе моделирования, базируется на общих представлениях о гидрогеологических условиях в окружающем участок пространстве. Для подтверждения полученных выводов необходимо получение фактических данных о проницаемости разреза и структуре подземного потока по направлению движения подземных вод к зонам разгрузки.

Определение водопритоков в горные выработки определены на основе полученных данных при поинтервальных откачках и по результатам моделирования, представляются достаточно достоверными, с инженерным запасом.

В отчете особое внимание уделено оценке условий формирования и темпов водообмена на площадке участка «Енисейский», что является определяющим при оценке долговременной безопасности проектируемого сооружения. Темпы водообмена (абсолютный возраст) определялся как прямыми, так и расчетным, гидродинамическим (моделирование) методами.

Профессиональная интерпретация имеющихся данных позволяет полностью согласиться с выводами, изложенными в конце подраздела и признать участок пригодным для строительства ООИ РАО.

Интересные результаты получены на основе изучения изотопного состава подземных вод, свидетельствующие о больших вариациях водообмена в метаморфической толще. По-видимому, возможности получения новых выводов в этом отношении отнюдь не исчерпаны.

К содержанию раздела 3.2.3 (Книга 2) «Гидрогеодинамические условия» нет замечаний. Следует признать, что авторами отчета сделано все методически верно и уровень гидрогеологической изученности соответствует оценочной стадии работ. К сожалению, вопрос о пространственном распределении и внутреннем строении водопроводящих зон (особенно крутопадающих) в существенной мере остается открытым. Радиусы дренирования разведочных скважин дают лишь самые общие представления. Возможно, решить этот вопрос удастся лишь с помощью горных выработок и горизонтальных скважин.



Раздел 3.3. «Геотермические условия» дает полное представление о температурных условиях хранилища. Выводы о том, что относительно низкая температура благоприятна для охлаждения тепловыделяющих РАО и что температурные показатели указывают на отсутствие аномалий и представляются правильными и указывают на отсутствие разрывных нарушений.

В разделе 3.4 «Свойства грунтов и специфические грунты» приведена инженерно-геологическая стратификация и дана исчерпывающая характеристики геологической среды, физико-механических, геохимических, тепловых и сорбционных свойств горных пород. Основным результатом исследований является вывод о том, что по физико-механическим свойствам участок «Енисейский» пригоден для размещения РАО. С этим выводом нельзя не согласиться. По сравнению с геологическими условиями участка размещения ООИ РАО в кристаллических породах в других странах показатели участка «Енисейский» несомненно, являются наиболее предпочтительными.

Анализ состава горных пород и изучение отвалов подземных сооружений ГХК убедительно показали, что отвалы из подземной части ООИ РАО покроются таежной растительностью и не нанесут существенного вреда окружающей среде.

Проблемы безопасности ООИ РАО рассмотрены в главе 4 «Схематизация природных условий и прогнозные гидрогеологические и инженерно-геологические расчёты». Анализ этих условий (по имеющимся данным) выполнен убедительно и на высоком профессиональном уровне. Приведенной в отчете информации вполне достаточно чтобы согласиться с предварительным выводом о минимальном негативным воздействием ООИ РАО, расположенного в оцениваемом интервале глубин, на стадии строительства, эксплуатации и после вывода из эксплуатации. Для повышения достоверности сделанных выводов требуется продолжение натурных исследований на путях миграции загрязняющих компонентов.

Представленные в разделе 4.2.2 обоснования и выводы о пригодности участка для строительства и эксплуатации проектируемого подземного сооружения представляются правильными.

Глава 5 «Охрана окружающей природной среды и организация мониторинга» также составлена на основании материалов проектной документации. Каких-либо замечаний и возражений не вызывает.

Заключение написано четко и аргументировано. Обоснованность вывода о том, что участок Енисейский соответствует требованиям МАГАТЭ, национальным требованиям НП-055-14, а также рекомендациям МПР РФ не вызывает сомнений.



Следует согласиться с выводами авторов по главам и разделам отчета о необходимости проведения дополнительных исследований и изысканий:

1. Инженерно-геологические, инженерно-гидрогеологические, геофизические и экологические изыскания по направлению линии разгрузки потока подземных вод от ООИ РАО до р. Енисей.

2. Многофакторный анализ результатов изысканий и моделирование процессов миграции радионуклидов с целью оценки негативного воздействия ООИ РАО на наблюдаемые компоненты.

3. Сбор, анализ материалов по изученности факторов потенциального воздействия ООИ РАО на окружающую среду. Разработка нормативов воздействия ООИ РАО на окружающую среду.

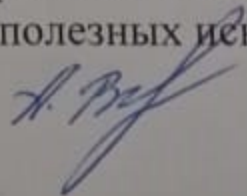
4. Определение возраста вод по линии разгрузки потока подземных вод в р. Енисей.

5. Определение сорбционных свойств массива на участке распространения загрязненных подземных вод от ООИ РАО до зоны разгрузки потока подземных вод в р. Енисей.

Результаты исследований и изысканий, а также результаты аналитической обработки по оценке долговременной безопасности ООИ РАО необходимо представить в ФБУ «ГКЗ» в 2018 г. с целью окончательного утверждения решения о возможности создания ПНИЛ и ООИ РАО на участке «Енисейский».

Оценивая работу в целом, следует признать, что по своему научному уровню, доказательности и профессионализму рецензируемый отчет соответствует всем нормативным требованиям. В отчете решены основные задачи оценочного этапа проведения геологоразведочных работ по обоснованию выбора участка недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых. В нем рассмотрены главные вопросы, влияющие на оценку изоляционных свойств геологической среды и возможности использования участка для сооружения ООИ РАО. По всем параметрам отчет отвечает мировому уровню и заслуживает высокой оценки.

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
директор Института геологии минеральных ресурсов МГРИ-РГГРУ,  
заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых  
эксперт научно-технической сферы РИНКЦЭ



А.А. Верчеба





МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
"ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМИССИЯ ПО ЗАПАСАМ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ"  
(ФБУ "ГКЗ")**

Большая Поляна, 54, стр.1, подъезд 2, Москва, 119180  
Тел.: (499) 238-58-56, факс: (499) 230-73-44. E-mail: [gkz@gkz-rf.ru](mailto:gkz@gkz-rf.ru)  
ОКПО 17331178, ОГРН 1027739217770  
ИНН/КПП 7706030458/770601001

14.07.2016 № 04 1/142  
на № 01/586 от 16.06.2016

Руководителю Красноярского филиала  
ФБУ «ТФГИ по Сибирскому  
федеральному округу»

И.И. Сергееву

А.Е. Жуков

Уважаемый Иван Иванович!

Настоящим письмом уведомляем Вас, что гриф ограничения «Для служебного пользования» на приложении № 6 к протоколу ГКЗ №4523-пс от 03.02.2016 является технической ошибкой. Такой гриф на экспертные заключения не накладывался.

Главный геолог

А.Б. Лазарев

Русановой О.А.  
снять гриф, дсп  
с протокола ГКЗ

Красноярский филиал  
ФБУ «ТФГИ по Сибирскому  
федеральному округу»  
Вх. № 1274  
от 15 " 07 2016 г.