

ОЦЕНКА ТРЕБОВАНИЙ К ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ПРИ ВЫБОРЕ УЧАСТКА НЕДР ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ГЛУБОКИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ

А. Ю. Озерский

ОАО «Красноярская горно-геологическая компания», Красноярск

Статья поступила в редакцию 30 апреля 2021 г.

На основе опыта геологических исследований, полученного при оценке участка Енисейский в Красноярском крае, анализируются состав и содержание основных нормативных документов для выбора участка недр с целью захоронения радиоактивных отходов в глубокие геологические формации. Показаны отдельные несоответствия между документами, а также неясности и неточности в их содержании. Предлагаются рекомендации по их совершенствованию.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, участок недр, нормы, рекомендации.

Введение

В настоящее время в результате тридцатилетнего мирового опыта международных научных исследований в среде специалистов и в государственных органах сформировалось мнение, что глубокое (геологическое) захоронение радиоактивных отходов (РАО) безопасно [23]. Это суждение нашло поддержку и в нашей стране, накопившей за годы ядерного противостояния огромное количество РАО. В 2011 году вступил в силу Федеральный закон Российской Федерации от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами...», согласно которому «радиоактивные отходы... подлежат обязательному захоронению в пунктах захоронения радиоактивных отходов» [19, ст. 12, п. 1]. При этом особое место отводится захоронению высокоактивных и среднеактивных отходов: «Захоронение твердых высокоактивных долгоживущих и

твердых среднеактивных долгоживущих радиоактивных отходов осуществляется в пунктах глубинного захоронения радиоактивных отходов...» [19, ст. 12, п. 2]. Закон также формулирует критерий глубины для создания пунктов глубинного захоронения радиоактивных отходов (далее — ПГЗРО), под которыми понимается «сооружение, размещенное на глубине более ста метров от поверхности земли».

В настоящее время следует считать основными два нормативных документа, в которых сформулированы требования к выбору площадок с целью захоронения РАО в глубокие геологические формации.

Первый документ — «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности (НП-055-14)» (далее — НП-055-14) — был разработан и утвержден

приказом Ростехнадзора России от 22 августа 2014 г. № 379 [17]. Он зарегистрирован в Минюсте России 02.02.2015 приказом № 35819. В силу этого обстоятельства нормы и правила НП-055-14 имеют более высокий статус, обуславливающий обязательный характер их применения.

Второй документ, носящий название «Методические рекомендации по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых» [10], был разработан Федеральным бюджетным учреждением «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФБУ «ГКЗ»), подчиненным Федеральному агентству по недропользованию (Роснедра) Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (МПР). Указанные «Методические рекомендации...» (далее — МР-2007) были предложены к использованию протоколом МПР от 03.04.2007 № 11-17/0044-пр. МР-2007 имеют рекомендательный характер, однако этот документ служит основой для принятия Роснедрами решения о пригодности выбранного участка недр для подземного захоронения РАО в глубокие геологические формации.

Нужно сказать, что оба этих документа не основаны на доказанных теоретических концепциях или надежных эмпирических решениях, как при подсчете запасов полезных ископаемых. В их основу положен главным образом здравый смысл и самые общие представления о влиянии различных элементов геологической среды на условия глубинного захоронения РАО. Это объясняется полным отсутствием опыта глубинного захоронения РАО в нашей стране и довольно ограниченным опытом подобной деятельности за рубежом [23].

В работе рассмотрены и проанализированы требования, которые выдвинуты к геологической среде глубоких формаций в обоих упомянутых документах [10, 17]. При этом использовался опыт, полученный при геологическом изучении участка «Енисейский» (Нижнеканский массив, Красноярский край) [1, 9, 12]. При анализе основное внимание уделялось обоснованности требований, их увязке между собой, ясности и однозначности понятий и критериев.

Вопросы сейсмичности и вулканизма, представляющие собой весьма специфические отрасли знаний, в этой статье не рассматриваются.

Анализ документов

Глобальное геоструктурное положение участков глубинного захоронения. Упомянутые нормативные документы [10, 17] не накладывают

никаких ограничений на расположение ПГЗРО в геологических структурах различного возраста и генезиса. Древние платформы (кратоны), молодые платформы (плиты), подвижные пояса (орогены), их отдельные фрагменты (террейны) — все они считаются пригодными для глубинного захоронения РАО. Действительно, ПГЗРО и подземные лаборатории по изучению глубинного захоронения РАО созданы или создаются в различных структурах [20]. По нашему мнению, в нормативные документы должны быть внесены крупные геологические структуры, в пределах которых нежелательно осуществлять глубинное захоронение РАО, в их числе: границы литосферных плит и крупных геологических регионов — зоны спрединга, субдукции и коллизии, в частности, рифты, сутуры, глубинные разломы — вне зависимости от их активности. При этом, по-видимому, целесообразно рекомендовать минимально допустимое расстояние объектов захоронения от указанных геоструктурных зон.

Локальное структурно-геологическое положение ПГЗРО. В обоих рассмотренных нормативных документах [10, 17] содержатся, в общем, достаточно конкретные, но не всегда однозначно понятные ограничения по размещению ПГЗРО в пределах некоторых локальных геологических структур. В основном ограничения относятся к участкам проявления дизъюнктивных нарушений, главным образом к *активным разломам*, а также к *активным геодинамическим зонам*.

Так, НП-055-14 [17, п. 48] не допускает размещение ПГЗРО «на площадках, расположенных непосредственно на активных разломах или в активных геодинамических зонах». Методические рекомендации ФБУ «ГКЗ» [10, п. 3.3.15] также относят «активные разрывные нарушения» к неблагоприятным условиям подземного строительства.

Термин «активный разлом» ввел в современную науку в 1949 году американский сейсмолог Роберт Уоллес (R. E. Wallace), который дал ему следующее определение: «активный разлом» (*active fault*) — разлом земной коры или всей литосферы, по которому в историческое время или в голоцене (последние 10 тысяч лет) происходили смещения либо локализовались очаги землетрясений [3].

Однако определения этого термина в нормативных источниках отличаются от научной формулировки. При этом в разных действующих документах Ростехнадзора и Минстроя записаны различные временные сроки активизации разломов (от 100 тысяч до 2 млн лет назад), а также

различные величины перемещений блоков пород (от 0,5 м до неопределенной, представляющей «опасность для сооружений») [15, 16, 18].

Существующий терминологический произвол в формулировании определения «*активный разлом*» является отражением превышения полномочий государственными министерствами и службами. В документах Ростехнадзора и Минстроя не указаны права по определению содержания терминов геологических структур и величины характеризующих их показателей. По функциональным обязанностям недр и находящиеся в них геологические структуры относятся к ведению Минприроды (Федерального агентства по недропользованию), но и здесь полномочия не предусматривают разработки и утверждения нормативных определений содержания геологических структур. Безусловно, необходимо преодоление произвольного толкования терминов, от которых зависит безопасность промышленных объектов и населения страны, в связи с чем термин «активный разлом» должен получить научно обоснованное однозначное толкование, признаваемое всеми заинтересованными ведомствами.

Кроме термина «*активный разлом*» в нормативных документах существует также термин «*активная геодинамическая зона*», в пределах которой не допускается строительство ПЗРО [17, п. 48]. Это понятие также требует ясной и однозначной формулировки.

Литологический (петрографический) состав пород. В рассматриваемых нормативных документах (НП-055-14 и МР-2007) приведены примерно одни и те же породы, в которых возможно захоронение РАО (табл. 1). При этом требования МР-2007 относятся ко всем видам твердых отходов, в том числе и к радиоактивным.

Таблица 1. Породы, пригодные для захоронения РАО

НП-055-14 [17]	МР-2007 [10]
«53. ...вещающие породы должны быть представлены одним из потенциально пригодных типов (кристаллические магматические или метаморфические породы, в том числе граниты, гнейсы, туфы, предпочтительно основного или ультраосновного состава; каменная соль или ангидрит; глины)»	«3.1.2.4. Пригодными для захоронения твёрдых отходов на специально сооружаемых подземных полигонах являются ... участки недр, сложенные практически водонепроницаемыми породами (глины, каменная соль, нетрециноватые магматические породы), включающие контакт отходов с подземными водами»

В НП-055-14 приведен более широкий набор потенциально пригодных пород, чем в МР-2007. В частности, метаморфические и туфогенные

породы, а также ангидриты вообще не упоминаются в документе ФБУ «ГКЗ», что дает формальные основания не рассматривать участок недр в упомянутых породах при проведении государственной геологической экспертизы.

Надо сказать, что именно в метаморфических породах (архейских гнейсах) был выявлен и оценен Енисейский участок. Государственная экспертиза оценочных геологоразведочных работ на данном участке проводилась в ФБУ «ГКЗ» и ее результаты утверждены протоколом Роснедр [9]. Эксперты в данном случае, по-видимому, руководствовались здравым смыслом и соображениями целесообразности. Таким образом, Методические рекомендации ФБУ «ГКЗ» [10] нуждаются в некотором уточнении в отношении расширения набора пород, пригодных для захоронения РАО.

Глубина захоронения РАО. Как уже сказано выше, согласно Федеральному закону № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами...», пункт глубинного захоронения радиоактивных отходов включает в себя «*сооружение, размещенное на глубине более ста метров от поверхности земли*» [19]. В НП-055-14 глубина захоронения не регламентируется и не классифицируется. В то же время в МР-2007 предлагается классификация размещения по глубине: «*Полигоны подземного захоронения твердых и отвержденных отходов (ППЗ ТО) по глубине заложения подразделяются на ППЗ ТО глубокого заложения (300–1500 м) и ППЗ ТО приповерхностного неглубокого заложения (до 300 м)*» [10]. Данное положение нормативного документа вступает в противоречие с Федеральным законом, согласно которому все сооружения, расположенные глубже 100 м, следует считать глубинными, поэтому нормативный документ МПР [10] требует приведения в соответствие с ФЗ.

Гидрогеологические условия. Согласно МР-2007 «*основными характеристиками, обосновывающими выбор участка недр и проектирование специальных полигонов подземного захоронения твердых отходов, являются показатели физико-механических, теплофизических и фильтрационных свойств пород*». При этом к числу основных факторов, определяющих условия строительства подземных сооружений, относятся «*гидрогеологические условия (наличие подземных вод, их химический состав, агрессивность по отношению к металлическим конструкциям, оболочкам кабелей и бетону, водообильность и водопроницаемость пород, распределение напоров подземных вод)*». К участкам, непригодным с гидрогеологической точки зрения, МР-2007 относит те, на которых «*возможны катастрофические прорывы*

подземных вод с большими притоками воды в горные выработки» [10].

Очень близкие по существу требования изложены в п. 53 НП-055-14: «массив пород не должен содержать водоносных горизонтов, линз подземных вод или трещиноватых зон, по которым возможен водоприток в горные выработки и их затопление».

В отношении требований к проницаемости пород массива нормативные документы, к сожалению, не конкретны. Согласно п. 53 НП-055-14 «в пределах рабочей толщи не должно содержаться линз рассолов, пластов проницаемых пород», при этом предпочтение надо отдавать тем участкам недр, где «выше предполагаемой глубины заложения сооружений ПЗРО располагаются водоупорные и не пригодные для водоснабжения водоносные горизонты» [17, п. 54].

По нашему мнению, в нормативных документах должны быть сформулированы требования к проницаемости не только самого целевого интервала, предназначенного для захоронения РАО, но также и к проницаемости надцелевых и подцелевых горизонтов. На сложность условий и обводнение горных выработок существенно влияет обводнение перекрывающих отложений. Кроме того, при больших глубинах создания ПЗРО в подстилающей толще неизбежно будут формироваться большие напоры на подошву подземной выработки, поэтому в нормативные документы предлагается включить рекомендации о предпочтительности тех участков недр, в которых перекрывающие и подстилающие толщи представлены водонепроницаемыми либо слабопроницаемыми породами.

Кроме этого, в нормативных документах должны быть даны определения этих пород. Согласно ГОСТ 25100-2011, применяемому в инженерных изысканиях при строительстве, к водонепроницаемым относят грунты с коэффициентом фильтрации менее $0,005 \text{ м}\cdot\text{сут}^{-1}$. Коэффициент фильтрации слабопроницаемых грунтов находится в пределах от $0,005$ до $0,03 \text{ м}\cdot\text{сут}^{-1}$ [6]. Преобладающая часть инженерно-хозяйственной деятельности человека осуществляется в приповерхностных условиях, для которых приведенные выше нормативные пороговые значения коэффициента фильтрации, по-видимому, справедливы.

При гидрогеологическом изучении недр Енисейского участка нами была использована эта строительная классификация проницаемости ГОСТ 25100-2011, благодаря которой результаты получили положительное экспертное заключение Роснедр [9, 12]. Однако формальное применение пороговых значений коэффициента

фильтрации входит в некоторое противоречие с реально наблюдаемыми гидрогеологическими условиями. Хотя проницаемость массива архейских пород Енисейского участка очень мала (медианное значение коэффициента фильтрации $0,0004 \text{ м}\cdot\text{сут}^{-1}$), массив нельзя считать абсолютно водонепроницаемым. В нем, в том числе на большой глубине, наблюдается крайне медленное перемещение водных масс, что подтверждается картами гидроизогипс, режимными наблюдениями, химическим и изотопным составом подземных вод. При этом из-за очень малых размеров и трещин движение подземных вод происходит с участием капиллярных и вязкостных сил, вероятно весьма сильно искажающих классическую фильтрацию, описываемую законом А. Дарси [12].

На других объектах пользования недрами для глубинных участков признаются иные критерии проницаемости. Так, для нефтегазовых месторождений, залегающих, как правило, на больших глубинах, достигающих первых километров, пороговым значением считается величина 1 мД (около $0,00086 \text{ м}\cdot\text{сут}^{-1}$ при 20°C). При проницаемости выше 1 мД порода считается коллектором, ниже — водоупором [22]. Таким образом, по критериям ГОСТ 25100-2011, рассматривающего приповерхностные условия, глубокие горизонты многих месторождений углеводородов являются слабопроницаемыми или непроницаемыми.

Опыт изучения Енисейского участка показал, что для глубинных условий создания ПЗРО следует разработать специальную классификацию пород по проницаемости, в зависимости от глубины ПЗРО и от петрографического (литологического) типа. Большинство исследователей считают эвапориты (каменная соль, ангидрит, гипс) непроницаемыми. Проницаемость пелитов (глин и аргиллитов) для воды варьируется в пределах $1\cdot 10^{-7}$ — $1\cdot 10^{-6} \text{ Д}$, однако на глубине 1500 м , где температура равна 50 — 60°C , глинистые породы становятся в значительной степени водопроницаемыми [4]. Кристаллические породы даже на большой глубине имеют более высокую и разнообразную проницаемость, чем глинистые породы [12, 21, 24]

По своему пространственному положению в недрах, горно-геологическим условиям строительства, гидрогеологической и инженерно-геологической обстановкам участки глубинного захоронения РАО наиболее близки к осадочным или стратиформным месторождениям твердых полезных ископаемых. При этом целевой интервал захоронения РАО может считаться аналогом пластообразной залежи полезного ископаемого.

Исходя из единообразия участков создания ПГЗРО и этих месторождений, метод аналогий совершенно правомерно применять для оценки пригодности исследуемых участков недр с геолого-гидрогеологических позиций. Так, при изучении гидрогеологических условий месторождений твердых полезных ископаемых *«исследования проводятся в пределах разведываемого месторождения ... и прилегающей территории»*. *«Гидрогеологическое изучение проводится в зоне возможного дренирующего влияния водоотлива и осушительных систем с учетом характера границ основных водоносных горизонтов»* [8].

Это положение обосновано тем, что основной водоприток поступает в подземные горные выработки из зоны дренирования, размеры которой определяются радиусом депрессионной воронки, который значительно превышает размеры горных выработок в недрах.

Вторым важным аспектом является то, что миграция радионуклидов из ПГЗРО, в случае их поступления в подземные воды, будет происходить вне территории подземного хранилища. Прогнозы водной миграции радионуклидов важны и нужны именно для этой внешней зоны, а не для участка подземного сооружения. Вот почему необходимо изучение фильтрационных и миграционных параметров геологической среды вне участка ПГЗРО, в зоне формирования водопритоков и на путях возможной водной миграции радионуклидов.

В МР-2007 имеется требование изучения участка недр на значительно большей площади, чем площадь сооружений ПГЗРО: *«площадь участка недр для строительства подземного сооружения должна быть в 2,5–3 раза больше расчетной полезной (выемочной) площади объекта»*. В НП-055-14 (п. 34–36) это условие сформулировано очень неконкретно: в документе используются понятия «площадка» и «район», но соотношения размеров этих пространственных объектов не обозначены. Это дает возможность инициаторам деятельности применять произвольные размеры, что делает изучение участка и оценку его пригодности для захоронения РАО неполными и недостаточно объективными.

Мы полагаем, что в нормативные документы должно быть включено требование о проведении гидрогеологического изучения участков захоронения РАО в зоне возможного радиуса дренирующего влияния водоотлива и осушительных систем подземного сооружения, а также в пределах расстояния вероятной миграции радионуклидов.

Взаимоотношения с поверхностными водными объектами. Ни один из рассмотренных

нормативных документов, к сожалению, не регламентирует взаимное расположение подземного сооружения и поверхностных водных объектов (рек и озер). Учитывая то, что ПГЗРО располагаются на большой глубине, мелкие водные объекты можно не принимать во внимание. Однако крупные реки совершенно справедливо считаются опасными для подземных горных выработок, влияющими на условия их затопления или катастрофические прорывы [2, 11]. В связи с этим обстоятельством целесообразно ввести предельно допустимые расстояния ПГЗРО от крупных и средних рек со средним расходом воды свыше $100 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Теплофизические свойства пород. Как уже говорилось выше, МР-2007 относит теплофизические свойства пород к основным характеристикам, обосновывающим выбор участка недр для подземного захоронения отходов. В то же время в НП-055-14 (п. 31) указаны лишь самые общие требования: *«вмещающие горные породы глубинных ПЗРО должны быть устойчивы к тепловому воздействию тепловыделяющих РАО, сохранять свои изолирующие свойства и обеспечивать в глубинных ПЗРО тепловой режим, не приводящий к нарушению целостности инженерных барьеров»*.

Оценка теплофизических свойств при геологическом изучении представляется особенно важной для захоронения высокоактивных отходов (ВАО), характеризующихся большим тепловыделением. Как известно, горные породы, как правило, являются плохими проводниками тепла. Поэтому ожидается, что породы с относительно повышенной теплопроводностью (λ) будут отводить тепло от ВАО в окружающие недра, тогда как в породах с низкой теплопроводностью возможен перегрев отходов, а также барьерных веществ, окружающих пород и подземных вод. Породы, рекомендуемые для захоронения РАО, характеризуются широким разбросом значений теплопроводности (табл. 2). В отличие от монолитных, трещиноватые и пористые разности пород, полости которых

Таблица 2. Теплопроводность пород, рекомендуемых для захоронения РАО [7]

Породы	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹
Ангидрит	2,5...5,8
Глина	0,1...3
Гнейсы	0,9...4,9
Граниты	1,1...3,9
Каменная соль	1,7...5,5
Туфы	1,3...4,0

заполнены водой ($\lambda=0,6 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$) и (или) воздухом ($\lambda=0,022 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$), имеют значительно меньшую теплопроводность и, по-видимому, неблагоприятны для захоронения ВАО [13].

Для глубинного захоронения ВАО рекомендуется включить в НП-055-14, в дополнение к изучению литологического (петрографического) состава пород, обязательное изучение теплофизических свойств пород и установить нижний допустимый предел теплопроводности.

Требование НП-055-14 к вмещающим горным породам о необходимости устойчивости к тепловому воздействию и сохранения изолирующих свойств, по нашему мнению, следует дополнить условием изучения теплового воздействия на свойства пород. Опыт нагрева гнейсов Енисейского участка до 120°C показал, что чаще происходит изменение прочности пород: в 42% случаев прочность усиливается, в 25% — ослабляется и только в 33% — не изменяется. Изменения прочности, вероятно, связаны с изменениями в термонапряженном состоянии пород [5].

Заключение

Анализ документов НП-055-14 и МР-2007, устанавливающих требования к геологической среде участков недр для захоронения радиоактивных отходов, показал, что они не лишены недостатков, на которые обращает внимание эта статья.

Несовершенство нормативных документов налагает на исследователей большой груз моральной ответственности за принятие решения, на основе которого будет осуществляться захоронение РАО. Можно ли говорить о том, что решение, принятое на основе несовершенных документов, обеспечит безопасность ПГЗРО в будущем? По-видимому, нет. На данном этапе можно говорить лишь о *формальном соответствии* изученного участка недр требованиям государственных органов, но, даже принимая непростое решение о формальном соответствии, *«мы никогда не должны забывать о нашей грешности»* [14].

Здесь надо сказать, что участков недр, барьерные свойства которых полностью обеспечивают долговременную безопасность объекта захоронения, по-видимому, не существует вовсе, поэтому естественные возможности геологической среды должны быть дополнены и доведены до приемлемых условий соответствующими проектными решениями, формирующими инженерные барьеры.

Несмотря на недостатки, имеющиеся нормативные документы представляют собой практическую

базу для принятия решений, обсуждения получаемых результатов и дальнейшего совершенствования требований. Используя этот исходный пункт, специалисты и ученые могут двигаться вперед в изучении геологической среды участков глубинного захоронения РАО, развивая теоретические подходы, которые *«имеют тенденцию во все большей степени приближаться к истине»* [14]. Мы выражаем надежду, что нормативные документы будут изменяться в лучшую сторону в течение всего времени, пока будет планироваться и осуществляться деятельность по захоронению РАО.

Литература

1. Андерсон Е. Б., Белов С. В., Камнев Е. Н., Колесников И. Ю., Лобанов Н. Ф., Морозов В. Н., Татаринов В. Н. Подземная изоляция радиоактивных отходов. Под ред. В. Н. Морозова. — М.: Горная книга, 2011. 592 с.
2. Временная инструкция по гидрогеологическому и инженерно-геологическому обслуживанию горноэксплуатационных работ на месторождениях твердых полезных ископаемых. Утверждена Мингео СССР 03.08.1960. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1960. 51 с.
3. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. Гл. ред. О. В. Петров. — СПб.: Изд. ВСЕГЕИ, 2010.
4. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П. Проницаемость и фильтрация в глинах. — М.: Недра, 1986. 160 с.
5. Городецкая М. Д., Заблоцкий К. А., Озерский А. Ю. О возможности изменения прочностных свойств пород Енисейского участка под тепловым влиянием ВАО // Научно-техническая конф. «Геодинамические поля и оценка современного состояния объектов использования атомной энергии»: Сборник докладов. Железногорск, 3–4 октября 2013 г. ФГУП «ГХК», 2013. С. 72–76.
6. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
7. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика (Физика горных пород): Учеб. для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. под ред. Д. А. Кожевникова. — М.: ФГУП Изд. «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004, 368 с.
8. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых. — М., Недра, 1986. 172 с.
9. Лобанов Н. Ф., Бейгул В. П., Лопатин П. В., Озерский А. Ю. Выбор расположения и обоснование пригодности участка для создания подземной исследовательской лаборатории на Нижнеканском массиве горных пород // Горный журнал. 2015. № 10. С. 59–63.

10. Методические рекомендации по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых. ФГУ «ГКЗ», 2007. 37 с.
11. *Норватов Ю. А.* Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полезных ископаемых). — Л.: Недра, 1988. 261 с.
12. *Озерский А. Ю., Караулов В. А.* Гидрогеологические исследования при изысканиях для подземного строительства в пределах массива кристаллических пород в южной части Енисейского кряжа // Инженерные изыскания. 2012. № 11. С. 52—59.
13. *Озерский А. Ю.* Опыт исследования теплофизических свойств пород архейского массива // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах: сборник научных трудов. Вып. 21. Пермь, Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019. С. 93—99.
14. *Понпер К. Р.* Объективное знание. Эволюционный подход. Пер. с англ. Д. Г. Лахути. Отв. ред. В. Н. Садовский. М.: Издательская группа URSS (Editorial URSS), 2002. 384 с.
15. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. М., Минстрой России, 2014. 125 с.
16. СП 151.13330.2012. Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть II. Инженерные изыскания для разработки проектной и рабочей документации и сопровождения строительства. М., Госстрой, 2012. 178 с.
17. НП-055-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности». М.: Ростехнадзор, 2014, 54 с.
18. НП-050-03. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Размещение ядерных установок ядерного топливного цикла. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности». М.: Ростехнадзор, 2003. 7 с.
19. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
20. Deep geological repository. URL: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Deepgeologicalrepository&oldid=701286590>.
21. *Geier J., Bath A., Stephansson O.* Comparison of site descriptive models for Olkiluoto, Finland and Forsmark, Sweden. STUK-TR 14, Helsinki, 2012. 64 p.
22. *Glover P.* Petrophysics. MSc Course Notes. University of Leeds, 2000. 376 p.
23. *Grambow B., Bretesché S.* Geological disposal of nuclear waste: II. From laboratory data to the safety analysis — Addressing societal concerns. Applied Geochemistry. 2014. No. 49. Pp. 247—258.
24. *Stevenson D. R., Kozak E. T., Davison C. C., Gascoyne M., Broadfoot R. A.* Hydrogeologic characteristics of domains of sparsely fractured rock in the granitic Lac du Bonnet batholith, Southeastern Manitoba, Canada. Atomic Energy of Canada Limited. Whiteshell Laboratories, Pinawa, Manitoba, Canada, 1996. 27 p.

Информация об авторе

Озерский Андрей Юрьевич, кандидат геолого-минералогических наук, главный гидрогеолог, ОАО «Красноярская горно-геологическая компания» (660049, Красноярск, ул. К. Маркса, д. 62), e-mail: ozerski@krasgeo.ru.

Библиографическое описание статьи

Озерский А. Ю. Оценка требований к геологической среде при выборе участка недр для захоронения радиоактивных отходов в глубокие геологические формации // Радиоактивные отходы. 2021. № 2 (15). С. 90—98. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-2-90-98.

ASSESSMENT OF REQUIREMENTS TO THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT FOR THE SUBSOIL SITING OF A RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FACILITY IN DEEP GEOLOGICAL FORMATIONS

Ozerskiy A. Yu.

JSC “Krasnoyarsk Geology”, Krasnoyarsk, Russia

Article received on April 30, 2021

The paper analyzes the structure and the contents of main regulations on the subsoil siting of deep geological radioactive waste disposal facility which was done based on the geological research performed to assess the “Yeniseiskiy” site in the Krasnoyarsk Territory. It also discusses some specific inconsistencies found in different documents, as well as ambiguities and inaccuracies in their content. The paper provides some recommendations on their upgrading.

Keywords: radioactive waste, subsoil area, norms, recommendations.

References

1. Anderson E. B., Belov S. V., Kamnev E. N., Koleznikov I. Yu., Lobanov N. F., Morozov V. N., Tatarnov V. N. *Podzemnaya izolyatsiya radioaktivnykh otkhodov* [Underground disposal of radioactive waste]. Edited by V. N. Morozov. Moscow, “Gornaya kniga” Publ., 2011. 592 p.
2. *Vremennaya instruktsiya po gidrogeologicheskomu i inzhenerno-geologicheskomu obsluzhivaniyu gornoksploiatatsionnykh rabot na mestorozhdeniyakh tverdykh poleznykh iskopayemykh* [Temporary instruction on hydrogeological and engineering-geological assisting during mining operations at solid mineral deposits]. Approved by the Mingeo of the USSR 08/03/1960. Moscow, VSEGINGEO Publ., 1960. 51 p.
3. *Geologicheskii slovar'*. V trekh tomakh. Izdanie tret'ye, pererab. i dop. [Geological Dictionary. In three volumes. Third edition, revised and add.]. Ch. ed. O. V. Petrov. Saint-Petersburg, VSEGEI Publ., 2010.
4. Goldberg V. M., Skvortsov N. P. *Pronitsayemost' i fil'tratsiya v glinakh* [Permeability and filtration in clays]. Moscow, “Nedra” Publ., 1986. 160 p.
5. Gorodetskaya M. D., Zablotskiy K. A., Ozerskiy A. Yu. O vozmozhnosti izmeneniya prochnostnykh svoystv porod Yeniseyskogo uchastka pod teplovyim vliyaniem VAO [About possible alterations in the strength properties of rocks in the Yeniseiskiy area under HLW thermal influences]. *Nauchno-tekhnicheskaya konf. “Geodinamicheskoye polya i otsenka sovremennogo sostoyaniya ob'yektov ispol'zovaniya atomnoy energii”*: Sbornik dokladov [Scientific and technical conference. Geodynamic fields and estimated current state of nuclear facilities: proceedings]. Zheleznogorsk, October 3–4, 2013, FSUE MCC. Zheleznogorsk, FSUE MCC Publ., 2013. Pp. 72–76.
6. GOST 25100-2011. Soils. Classification. Official edition. Moscow, MNTKS Publ., 2011. 62 p.
7. Dobrynin V. M., Wendelshtein B. Yu., Kozhevnikov D. A. *Petrofizika (Fizika gornykh porod): Ucheb. dlya vuzov* [Petrophysics (Physics of rocks): Textbook for universities] 2nd ed. revised and add. Edited by D. A. Kozhevnikova. Moscow, FSUE “Oil and Gas” Publ. of the Russian State University of Oil and Gas named after I. M. Gubkin, 2004. 368 p.
8. *Izucheniye gidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh usloviy mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopayemykh* [Study of hydrogeological and engineering-geological conditions at solid mineral deposits]. Moscow, “Nedra” Publ., 1986. 172 p.
9. Lobanov N. F., Beigul V. P., Lopatin P. V., Ozerskiy A. Yu. Vybor raspolozheniya i obosnovaniye prigodnosti uchastka dlya sozdaniya podzemnoy issledovatel'skoy laboratorii na Nizhnekanskom massive gornykh porod [Siting and demonstrating the adequacy of a site proposed for underground research laboratory construction in the Nizhnekansk rock mass]. *Gorniy Zhurnal — Mining Journal*, 2015, no. 10, pp. 59–63.
10. *Metodicheskoye rekomendatsii po obosnovaniyu vybora uchastkov neдр dlya tseley, ne svyazannykh s dobychey poleznykh iskopayemykh*. Rekomendovany k ispol'zovaniyu protokolom MPR Rossii ot 03.04.2007 № 11-17/0044-pr, utverzhdenym Zamestitelem Ministra prirodnnykh resursov Rossiyskoy Federatsii [Methodological recommendations on making siting decisions under the purposes not related to mining. Recommended by the Protocol of the Ministry of Natural Resources of Russia of April 3, 2007 No. 11-17/0044-pr, approved by the Deputy Minister of Natural Resources of the Russian Federation] A. I. Varlamov. Moscow, FGU GKZ Publ., 2007. 37 p.

11. Norvatov Yu. A. *Izucheniye i prognoz tekhnogenogo rezhima podzemnykh vod (pri osvoyenii mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh)* [Studying and forecasting the technogenic regime of groundwater flows (during field development)]. Leningrad, "Nedra" Publ., 1988. 261 p.
12. Ozerskiy A. Yu., Karaulov V. A. *Gidrogeologicheskiye issledovaniya pri izyskaniyakh dlya podzemnogo stroitel'stva v predelakh massiva kristallicheskih porod v yuzhnoy chasti Yeniseyskogo kryazha* [Hydrogeological investigations during surveys performed to enable underground construction within the crystalline rock massif in the southern part of the Yeniseiskiy ridge]. *Inzhenernyye izyskaniya — Engineering research*, 2012, no. 11, pp. 52–59.
13. Ozerskiy A. Yu. *Opyt issledovaniya teplofizicheskikh svoystv porod arkheyskogo massiva* [Experience in studying thermophysical properties of Archean massif rocks]. *Sergeyevskiy chteniya. Ekologo-ekonomicheskiy balans prirodopol'zovaniya v gornopromyshlennykh regionakh: sbornik nauchnykh trudov*. [Sergeevsk proceedings. Ecological and economic balance of nature management in mining regions: collection of scientific papers]. Issue 21. Perm, Perm State National Research University Publ., 2019, pp. 93–99.
14. Popper K. R. *Ob'yektivnoye znaniye. Evolyutsionnyy podkhod* [Objective knowledge. An evolutionary approach]. Translated from English by D. G. Lakhuti. Resp. ed. V. N. Sadovsky. Moscow, Editorial URSS Publ., 2002. 384 p.
15. SP 14.13330.2014. *Stroitel'stvo v seismicheskikh rayonakh* [Construction in seismic areas]. Moscow, Gosstroy Publ., 2014. 125 p.
16. SP 151.13330.2012. *Inzhenernyye izyskaniya dlya razmeshcheniya, proyektirovaniya i stroitel'stva AES. Chast' II. Inzhenernyye izyskaniya dlya razrabotki proyektnoy i rabochey dokumentatsii i soprovozhdeniya stroitel'stva* [Engineering surveys for siting, design development and construction of nuclear power plants. Part II. Engineering surveys for the development of design and working documentation and construction support]. Moscow, Gosstroy Publ., 2012. 178 p.
17. NP-055-14. *Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii. "Zakhoroneniye radioaktivnykh otkhodov. printsipy, kriterii i osnovnyye trebovaniya bezopasnosti"* [Federal norms and rules in the field of atomic energy use. Disposal of radioactive waste. Principles, criteria and basic safety requirements]. Moscow, Rostekhnadzor Publ., 2014, 54 p.
18. NP-050-03. *Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii. "Razmeshcheniye yadernykh ustanovok yadernogo toplivnogo tsikla. Osnovnyye kriterii i trebovaniya po obespecheniyu bezopasnosti"* [Federal norms and rules in the field of atomic energy use. Siting of nuclear fuel cycle installations. Basic criteria and safety requirements]. Moscow, Rostekhnadzor Publ., 2003. 7 c.
19. Federal'nyy zakon ot 11 iyulya 2011 g. No. 190-FZ "Ob obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami i o vnese-nii izmeneniy v ot-del'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii" [Federal Law of the Russian Federation of July 11, 2011 No. 190-FZ On the Management of Radioactive Waste and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation].
20. Deep geological repository. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Deepgeological_repository&oldid=701286590.
21. Geier J., Bath A., Stephansson O. *Comparison of site descriptive models for Olkiluoto, Finland and Forsmark, Sweden*. STUK-TR 14, Helsinki, 2012. 64 p.
22. Glover P. *Petrophysics*. MSc Course Notes. University of Leeds, 2000. 376 p.
23. Grambow B., Bretesché S. Geological disposal of nuclear waste: II. From laboratory data to the safety analysis — Addressing societal concerns. *Applied Geochemistry*, 2014, vol. 49, pp. 247–258.
24. Stevenson D. R., Kozak E. T., Davison C. C., Gascoyne M., Broadfoot R. A. *Hydrogeologic characteristics of domains of sparsely fractured rock in the granitic Lac du Bonnet batholith, Southeastern Manitoba, Canada*. Atomic Energy of Canada Limited. Whiteshell Laboratories, Pinawa, Manitoba, Canada, 1996. 27 p.

Information about the author

Ozerskiy Andrey Yurievich, Ph.D., chief hydrogeologist, JSC "Krasnoyarsk Geology" (62, K. Marx St., Krasnoyarsk, 660049, Russia), e-mail: ozerski@krasgeo.ru.

Bibliographic description

Ozerskiy A. Yu. Assessment of Requirements to the Geological Environment for the Subsoil Siting of a Radioactive Waste Disposal Facility in Deep Geological Formations. *Radioactive Waste*, 2021, no. 2 (15), pp. 90–98. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-2-90-98. (In Russian).