

## Геологические, экологические и политические аспекты хранения и захоронения ядерных материалов

© *Е. В. Комлева, 2012*

Дортмундский технический университет, Дортмунд, Германия

Поступила 19 июля 2011 г.

*Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко*

У сфері енергетики продовжено розгляд взаємозв'язку нафтогазового бізнесу й міжнародних проєктів довготривалого зберігання ядерних матеріалів. Наведено російські варіанти створення ядерних сховищ і супутніх геологічних оцінок, зокрема, для Північного Заходу Росії.

This paper presents further consideration of the following interrelation in the energy production sphere: oil and gas business and international projects on the long-term storage of nuclear materials. There are discussed some Russian versions of construction of nuclear depositories as well as corresponding geological assessments. In particular, for the North-West Russia.

**Международные обстоятельства и потребности.** Комплексные интересы Германии в сфере энергетики на Севере Европы сосредоточены, в основном, вокруг двух проблем: Штокмановского газового месторождения и долговременных хранилищ ядерных материалов. В перспективе ядерное хранение может трансформироваться в прямое захоронение.

Попытка осмысления международными усилиями долговременного хранения ядерных материалов полезна в поле образа SAMPO [Комлева, 2007], в контексте нераспространения, и не только теоретически: сферы влияния ядерных и нефтегазовых объектов территориально не должны перекрываться. Аббревиатура SAMPO навеяна карело-финским эпосом и интерпретируется как Special Anthropic Mission — the Power (Prometheus) Obedience. Есть и региональные варианты для осмысления действующих или гипотетических ядерных объектов, например: Scandinavian (or Slavic, Saida, Severodvinsk, Siberian, Streltsovsky, Semipalatinsk, Sarov, Seversk, Slavutich) Atomic Mission — the Proliferation's Oikumene.

Ситуацию «подогревает» решение Б. Обамы (через 22 года с начала строительства и после затрат в 9 млрд долл. США (десятая часть общей сметы)) прекратить реализацию проекта национального подземного хранилища высокоактивных материалов Yucca Mountain, прототипа многих подобного рода строек. Это касается также идеи и проектов интернационализации последней стадии обращения с

ядерными отходами, их надежной изоляции от биосферы в условиях глобализации мировой экономики. Возникают вопросы: «как?» и «где?», особенно после вступления в силу Американско-российского соглашения № 123, открывающего странам возможность «обмена» ядерными материалами. На международном уровне при оценке рисков принято, что одним из критериев безопасности атомной отрасли является количество мест хранения ядерных материалов — чем меньше мест хранения, тем выше уровень безопасности.

В Западной Европе идею о международной кооперации применительно к подземной изоляции ядерных материалов наиболее активно развивает Ассоциация регионального и международного подземного захоронения (ARIUS — the Association for Regional and International Underground Storage). В директиве ЕС по обращению с ядерными отходами (июль 2011 г.) указывается, что страны-участницы должны разработать к 2015 г. планы захоронения, ориентируясь на подземную изоляцию и возможность экспорта отходов.

Ю. В. Дублянский (Juri Dublyansky, www.uibk.ac.at) — один из авторов работ, способствовавших отмене некачественного, с научной точки зрения, проекта хранилища Yucca Mountain, геолог (инженерная геология и гидрогеология, низкотемпературные гидротермальные процессы, изотопные исследования, а также история и прогнозы относительно четвертичного периода). Его общая эрудиция

и специальные знания существенно повлияли на формирование решения ведущей ядерной страны относительно места размещения природно-техногенного, с элементами самоорганизации объекта, который по нормативам должен безопасно функционировать не менее 10 тыс. лет. Косвенно это возможно ослабит воздействие ядерной проблематики на общечеловеческое будущее. Кроме того, Ю. В. Дублянский нелестно охарактеризовал стиль финансирования независимых оценок его геологических обоснований таких объектов российскими и американскими ядерными ведомствами.

После закрытия проекта Yucca Mountain вследствие Фукусимской катастрофы и приостановки эксплуатации ряда АЭС обострились споры по главному вопросу ядерных технологий — хранения выведенных из оборота гражданских и военных ядерных материалов, в том числе в контексте ядерного терроризма. Возможен также возврат интереса к небольшим подземным АЭС или гибридам подземной АЭС и подземного хранилища. Напомним, что в Японии не выдержали внешних воздействий с катастрофическими последствиями не только реакторы, но и приреакторные хранилища отработавшего ядерного топлива. Заслуживает внимания мнение о том, что вскрыта проблема серьезной уязвимости хранимого топлива — главный урок Фукусимской катастрофы (см., например, [Просвирнов, 2011]). Впрочем, до этого события Франция выдвинула революционную идею — развивать масштабную ядерную энергетику по укороченному разомкнутому топливному циклу, используя подземное пространство страны и компактные системы производства пара ([http://www.t3000.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=16&Itemid=27](http://www.t3000.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=27)).

Трагедия Фукусимской АЭС, начало которой положил геологический процесс, обнулила смысл разумных затрат при строительстве, которые должны были комплексно обеспечить безопасность и экономичность станции в классическом исполнении. Не пришло еще время объективно оценить «космические» затраты на ликвидацию последствий этой трагедии. Хотя уже показано, что негативное влияние японских событий на некоторые показатели мировой экономики совокупно оказалось не меньше, чем при глобальном финансовом кризисе (<http://www.iep.kolasc.net.ru/news/news141112011.php>). Ядерная составляющая этих событий, особенно в долговременном ракурсе, едва ли не самая значимая.

В Японии и странах Тихоокеанского бассейна снова остро стоит вопрос о принципиальной возможности хранения и захоронения ядерных материалов в регионах субдукционного взаимодействия литосферных плит, где возможны периодические вбросы техногенной радиоактивности в океан. Калифорнийский желоб и Йеллоустонский мегавулкан могут мотивировать интерес США и Канады к более спокойным регионам планеты (например, к Северо-Востоку России). Фукусимская катастрофа не прошла бесследно и для шведов. Шведский проект по обращению с ядерными отходами SKB, предусматривающий строительство подземного национального ядерного хранилища и разрабатываемый три десятилетия, приостановлен на неопределенный срок [Рядом..., 2011]. Между тем проект SKB — мировой лидер в своей «нише» наряду с проектами Yucca Mountain и Финляндии. Причем финны после Фукусимской катастрофы не только не приостановили создание аналогичного объекта Олкилуото (Онкало), но и переводят захоронение в нем в категорию международного бизнеса ([http://www.bbc.co.uk/russian/international/2011/07/110701\\_5thfloor\\_nuclear\\_waste\\_docu.shtml](http://www.bbc.co.uk/russian/international/2011/07/110701_5thfloor_nuclear_waste_docu.shtml)).

Необходимо учитывать явное стремление западных стран повысить контроль над легкодоступными углеводородами Ближнего Востока и Африки. Грядут серьезные изменения и на рынке, обусловленные разработкой месторождений сланцевого газа. Открыты месторождения нефти абиогенного происхождения, что существенно укрепляет позиции зарубежной углеводородной энергетики. Ввиду указанного внимания Запада к российским нефтегазовым регионам с суровым климатом может временно уменьшиться. Кроме того, логическим продолжением решения о закрытии ряда европейских АЭС могут быть меры по сверхплановому демонтажу станций с наработкой больших объемов дополнительных отходов.

#### **Подходы России, Украины и Казахстана.**

Осмысление проекта SAMP0&Co может способствовать формированию составной усиливающей части региональных и общероссийских программ создания технологической платформы «Инфраструктура Арктики», особенно когда независимые оценки ([Криворотов, 2010; Череповицын, Жуков, 2010], участники телепередачи «В фокусе» на российском канале РБК от 09.03.11 и 23.03.11) указывают на отсутствие стабильной и позитивной тенденции относительно развития нефтегазового бизнеса в Ар-

ктике. Об этом свидетельствуют и реалии провалов попыток России в 2011 г. завершить многолетнюю подготовку контрактов на поставку газа в Китай, корпорации «Роснефть» — найти партнеров для работы в Арктике, Газпрома — обнародовать план инвестиций в разработку Штокмановского месторождения. Пример проектов «Сахалин-1,2» [Штокман, 2011] приводит к выводу, что надежды на привлекательность освоения шельфа для сухопутной экономики сопряженного региона не всегда сбываются. В отчетном докладе А. Миллера за 2010 г. Штокмановское месторождение упомянуто лишь как козырь для спокойствия акционеров относительно запасов на далекое будущее. Весьма важно, что не могут избавиться от пессимизма в отношении этого месторождения и представители интеллектуальной элиты Мурманска.

В. В. Путин в телевизионном эфире от 09.02.12 признал, что перенос сроков реализации указанного проекта имеет серьезные причины. Более того, в 2012 г. Газпром по главным контурам проекта вернулся как бы на несколько лет назад, в позицию нового выбора компаньонов и схемы транспортировки газа, причем на фоне кардинальных изменений в первую очередь газового статуса США.

Россия имеет национальное хранилище плутония на площадке ПО «Маяк». Потенциальные риски глобального уровня, связанные, прежде всего, с высокой и длительной концентрацией опасного вещества на земной поверхности обсуждались неоднократно (например, <http://nuclearno.ru/text.asp?15383>). В России реализована неоднозначная по результатам технология подземной изоляции жидких радиоактивных отходов в пластах-коллекторах (Северск, Железнодорожск, Димитровград).

Россия имеет намерение строить на своей территории международные ядерные хранилища подземного типа для твердых (с долгоживущими и высокоактивными изотопами) материалов. Особенно сейчас, так как после Фукусимской катастрофы ожидаемая зарубежная прибыль Росатома (Минатома) от строительства АЭС может устремиться к нулю, а от демонтажа АЭС с наработкой отходов — возрасти. В политическом плане страна приобретет весомую роль при решении проблемы ядерного нераспространения, а также диверсифицирует свою экспансию в сфере энергетики, дополнив имеющуюся инфраструктуру и спектр услуг углеводородной и ядерной энергетики финальным звеном ядерного топливного цикла.

Начало этого цикла положительное — производство свежего топлива для атомных станций мира в настоящее время становится отдельным бизнес-направлением российской атомной корпорации (<http://expert.ru/2011/12/14/atomnyij-kart-blansh/>). США в этом бизнесе давно. Смущает одно важное обстоятельство. Нет пока четкого объяснения для пользователя относительно судьбы российского топлива после его службы в зарубежном реакторе. Не каждый зарубежный партнер воспользуется российским предложением о свежем топливе, если «в начале пути» будет известно, что отработавшее топливо предстоит самому хранить (захоронить) или переработать. Кроме того, отработавшее топливо большинства АЭС мира, свежим поставленное из США (эта страна жестко выступает против переработки), с трудом пробьется на российский рынок хранения, если будет хотя бы гипотетическая возможность когда-либо его переработать на расположенном вблизи радиохимическом производстве (например, Красноярском горнохимическом комбинате (ГХК)).

Нацеленность на международные хранилища формировалась задолго до Фукусимской катастрофы: подготовлена законодательная база; в 2002 и 2005 гг. в Москве под эгидой МАГАТЭ проведены международные совещания по этой теме. Реальные действия российских властей противоречат озвученным неоднократно намерениям поддерживать и развивать в стране замкнутый ядерный топливный цикл [Кому..., 2011]. При отказе от радиохимической переработки отработавшего топлива или резком сокращении ее объемов главной становится задача долговременного хранения топлива. Россия стремится иметь хранилища третьего уровня, дополняющие систему федеральных и региональных хранилищ.

Несмотря на то что политическую волю к созданию международных ядерных хранилищ/могильников достаточно определенно проявили многие страны, конкретные юридические, финансовые и экономические механизмы этого еще предстоит создать, в том числе по сбалансированию в России общефедеральных и региональных интересов. Видимо, как аналог будет принята схема практической реализации соглашения между МАГАТЭ и Россией (2010 г.) о создании первого в мире международного банка свежего ядерного топлива. Необходимо также выработать социокультурные основания и критерии таких действий. Для сравнения так называемый индекс безопасности ядерных ма-

териалов Фонда «Инициатива по предотвращению ядерной угрозы» (Nuclear Threat Initiative) предусматривает анализ условий хранения и обращения с ядерными материалами в странах мира не только в военно-техническом, но и в социокультурном аспекте — от прошлого к будущему (<http://www.arms-expo.ru/050049054050124050054055048055.html>).

Варианты размещения международных хранилищ в России, наиболее официально «признанные», без нового комплексного анализа и дополнительных обоснований традиционно для ядерной отрасли «состыкованных» с объектами наследия «холодной войны», связаны пока с площадками вблизи Красноярска, Челябинска и границы с Китаем и Монголией (Краснокаменск). При этом преобладают площадки в зонах палеовулканов (как и в проекте хранилища Yucca Mountain). Применительно к площадке вблизи Краснокаменска интерес проявлен к эксплуатирующемуся и крупнейшему в России Стрельцовскому урановому рудному полю, поскольку позитивным считается наличие инфраструктуры горных выработок. Хотя приоритетные площадки уже «назначены», даже лояльный к ним анализ (ИГЕМ РАН [Лаверов и др., 2010]) геологической ситуации на базе слабой разведки закончился признанием, что Россия находится на начальной стадии таких программ и принимать решения по месту преждевременно. В Казахстане и Украине подобные объекты планируют на территориях соответственно Семипалатинского полигона (где задействованы охранные технические системы США: <http://nuclearno.ru/text.asp?15384>) и Чернобыльской зоны.

Важно помнить, что военно-промышленные ядерные объекты СССР, к которым теперь в России и Казахстане «привязывают» международные подземные ядерные хранилища, размещались примерно 60 лет назад в условиях конфронтации с Западом далеко не по геологическим и экономическим критериям, кроме урановых горно-обоганительных предприятий, но и в этом случае первоначальные геологические задачи коренным образом отличались от таковых при обосновании места нахождения хранилища. Безопасность же геологических (так их еще называют) хранилищ в течение тысяч лет ограничена прежде всего качеством породных массивов (механическая устойчивость и способность изолировать радионуклиды), а также комплексом геологических, геофизических, гидрогеологических и геохимических условий их длительного существования. Кроме

того, социально-политическая обстановка стала иной, как и границы, подальше от которых старались разместить ядерные объекты. Глобально теми же остались лишь речные системы Тобола, Иртыша, Оби и Енисея, все эти годы испытывающие радиационные нагрузки. В некоторой степени ситуация аналогична и для системы Днестра в пределах Украины.

Заботу о национальной безопасности и безопасности ядерных объектов никто не отменял. Вместе с тем необходим новый баланс политических, экономических, геологических и других обоснований. Использование прежнего подхода в новое время и для новой задачи ошибочно. Поэтому первые аргументы при подземной изоляции ядерных материалов относительно места и технологии хранилищ, наряду с политическими и экономическими, должны базироваться на результатах международных комплексных геологических проектов. Например, в Радиевом институте [Андерсон и др., 2011а] как идеологический постулат отмечают прерогативу наук о Земле при обосновании безопасности удаления ядерных материалов в геологические формации. Кроме того, применительно к Северо-Западу России подчеркивается важность вспомогательного использования огромного объема материалов предшествующего (для других целей) геологического изучения региона, прежде всего, полученных на многолетних этапах поиска, разведки и добычи различных полезных ископаемых. Подобные подходы не новы. Однако они с трудом «приживаются» в реальной практике геологов российской (и не только) ядерной отрасли.

После уроков Фукусимской катастрофы в стенах Национального ядерного университета МИФИ сформирован важный посыл: первоочередным считают ядерно-геологический симбиоз на международной основе. «Задача заключается в том, чтобы установить для площадки АЭС соответствие между уровнем природных рисков и объемом мер, необходимых для обеспечения должной степени безопасности. При этом такая оценка должна быть дана на основе единой общепризнанной методики (которую также еще предстоит создать) группой квалифицированных экспертов при неременном соблюдении принципа интернациональности ее состава. В то же время упомянутая методика должна содержать критерии безусловной непригодности какой-либо площадки (или даже региона) для сооружения и эксплуатации атомной станции» [Колдоб-

ский, 2011]. Интернационализация еще более актуальна при выборе площадки и создании ядерного хранилища.

Справедливости ради надо отметить, что тезис о важной роли геологов при обеспечении безопасности ядерных объектов связан не только с Фукусимской АЭС ([www.rae.ru/snt/pdf/2005/2/4.pdf](http://www.rae.ru/snt/pdf/2005/2/4.pdf); [http://www.roninfo.ru/publ/intervju/ehkologicheskaja\\_bezopasnost\\_obektov\\_rosatoma\\_v\\_rukakh\\_geologov/3-1-0-5](http://www.roninfo.ru/publ/intervju/ehkologicheskaja_bezopasnost_obektov_rosatoma_v_rukakh_geologov/3-1-0-5)). Причем если российская наука и промышленность в целом уже не могут самостоятельно или в качестве лидера решать глобальные проблемы, то горно-геологическая отрасль, пожалуй, еще способна это делать в своих рамках и при наличии денег. Тем более, что и со стороны специалистов ядерной отрасли интерес к созданию, например по аналогии с объектами древности, природно-техногенных систем захоронения ее отходов возрастает (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3756>), в том числе в силу объективных трудностей при реализации генеральной концепции развития российской ядерной энергетики (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=1656>; [http://www.t3000.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=16&Itemid=27](http://www.t3000.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=27)).

В последние годы Сарову (Россия) и Лос-Аламосу (США) неоднократно смертельно угрожали катастрофичные лесные пожары. С. В. Кириенко в июне 2011 г. сообщил (Госсовет по модернизации при Д.А. Медведеве), что Росатом внедряет идеологию прогноза и мониторинга условий существования АЭС по всему жизненному циклу (более 100 лет), включая стадию снятия станций с эксплуатации. Будет правильно, если аналогичный подход применяют к объектам хранения/захоронения ядерных материалов (тысячи/миллионы лет). В таких случаях без наук о Земле и практических знаний не обойтись.

**Потенциал Российского Севера.** Проектировщики Росатома последовательно считали, что на Северо-Западе России в качестве изолирующей геологической среды для ядерного хранилища (официально пока лишь регионального) можно использовать многолетнемерзлые известняки полигона Новой Земли и залежи солей Республики Коми [Саркисов, 2011]. По предложению Горного института Кольского научного центра (КНЦ) РАН ядерное хранилище следует разместить в пределах Сайды-Губы, в горле Кольского залива, и Дальних Зеленцов [Мельников и др., 2010]. Обе площадки принад-

лежат к Финнмаркско-Мурманской сейсмогенной зоне ([www.geotochka.ru/SVAROG2012/SVAROG2012\\_OVOS.pdf](http://www.geotochka.ru/SVAROG2012/SVAROG2012_OVOS.pdf)).

Возможно, нацеленность этих предложений на потенциальных потребителей пояснит статья В. А. Перовского с красноречивым названием «Где взять радиоактивные отходы для Сайды?». Автор указывает на многократную избыточность возводимых Германией в Сайда-Губе мощностей по переработке и хранению отходов, если ориентироваться на поставки только северных флотов [Перовский, 2011]. С 2011 г. начато проектирование функционально-аналогичного комплекса в Губе Андреева (финансирование Италии). Анализ (<http://proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3670>) истории реабилитации одноименной береговой базы ВМФ показывает следующее. За почти 20 лет развития базы под международным контролем темпы и общие объемы вывоза радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива с базы кратно уменьшились по сравнению с советским периодом, когда эта функция не была главной. С. В. Кириенко заявляет о практически полном и успешном завершении работ (умалчивая об их сути), хотя основные работы по разгрузке хранилищ и не начинались. Авторы анализа (В. А. Перовский и А. А. Аникин) предполагают, что реабилитация базы сознательно затянута, добавлю — чтобы сохранить имевшиеся предпосылки и создать облагоороженную территорию для дальнейшего развития в прежнем направлении объекта перевалки и временного хранения ядерных материалов, но другой генерации.

Росатом и Германия планируют кооперацию в использовании редкоземельных металлов Мурманска, что породит новый источник радиоактивных отходов. Кольские ученые прицениваются к вариантам компоновки объекта подземной изоляции для шведского отработавшего ядерного топлива, используя российские показатели технологий горных работ ([vestnik.mstu.edu.ru/v13\\_5\\_n42/articles/07\\_amosov.pdf](http://vestnik.mstu.edu.ru/v13_5_n42/articles/07_amosov.pdf)). Существуют и другие признаки того, что на Северо-Западе России созданием регионального хранилища не ограничатся.

Альтернативой официальным площадкам Росатома (Дальние Зеленцы и Сайда-Губа) являются Печенгская геологическая структура и ее обрамление (далее Печенга). Она удалена как от западноевропейской, так и азиатской радиохимической промышленности. Вулканологи обосновывают наличие в глубинах этой структуры позитивных для изоляции ядерных

материалов процессов минералообразования [Белоусов и др., 2001]. На «ядерный» потенциал этой структуры обращали внимание сотрудник ВНИПИЭТ В. А. Перовский, мурманские геологи-производственники (Н. И. Бичук, В. Г. Зайцев, Г. С. Мелихова и др. [Комлев и др., 1999]), специалисты Петербургского университета А. С. Сергеев и Р. В. Богданов [Сергеев и др., 1999], а также руководители Геологического института КНЦ РАН (Ф. П. Митрофанов), Кольской сверхглубокой скважины (Д. М. Губерман) и Ярославской экспедиции сверхглубокого бурения «Недра» (Л. А. Певзнер), равно как и SKB, МНТЦ и международная программа геологической корреляции ЮНЕСКО (The UNESCO International Geological Correlation Programme) [SKB&NEDRA..., 1993; Project-408..., 2000].

Вблизи Печенги сосредоточены силы и средства для профессионального выполнения геологических, горных и радиационно-ядерно опасных работ. При геологическом, экономическом и политическом приоритетах выбора Печенга оставляет возможность развивать ядерную компоненту объекта не с нуля. Действуют аналог ядерных подземных сооружений (рудник «Северный-Глубокий»), потенциальное место реализации технологий котлованного («курганного наоборот») создания ядерных могильников (карьер «Центральный»), единая технологическая система обозначенных выработок (<http://www.interros.ru/050055052053124053054057057/>), а также предтеча Фукусимской АЭС относительно аварийных хранилищ отработавшего ядерного топлива (инфраструктура Губы Андреева). Проблему отходов при демонтаже Кольской АЭС по аналогии с технологией «курганной наоборот» могло бы решить использование одного из карьеров Ковдора, Оленегорска или Хибин. Уже существующий геоядерный кластер «Печенга» упростит и удешевит как реализацию опережающих исследований (подземная лаборатория), так и создание производственного комплекса хранилища, обеспечит на базе международной и общегосударственной выгоды экономическую и технологическую переориентацию Мурманской области. Он также в полной мере соответствует междисциплинарному и межотраслевому духу, некоторым конкретным позициям указа Президента РФ (2011 г.) о приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники, тенденциям вхождения горной отрасли и науки в технолого-финансовые комплексы более высокого уровня (<http://miningexp.ru/news/19613>).

Кроме того, Печенга не принадлежит к территории формирования великих речных систем Евразии.

Примерами плодотворного международного сотрудничества могут служить: в сфере геологии — бурение Кольской сверхглубокой скважины; экологии — заповедник «Пасвик»; хозяйственной деятельности — строительство гидроэлектростанции на р. Паз; технологии — реконструкция плавильного цеха комбината «Печенганикель»; культуры — издание энциклопедии «Печенга»; спорта — массовый лыжный марафон по приграничным территориям России, Финляндии и Норвегии и др. Приграничное расположение Трифонова Печенгского монастыря потенциально благотворно для необходимого дополнительного геологического осмысления феномена ядерной энергии в его гражданском и военном проявлениях с позиций православия и других религиозных конфессий, а также физики и метафизики (например, взгляды разных религий относительно ядерного оружия изложены в книге «Ethics and weapons of mass destruction: religious and secular perspectives»). Планируется создать международную Поморскую экономическую зону. Специалисты КНЦ РАН занимаются не только геологией Печенги, но и разработкой экологических барьеров на основе местного природного и техногенного сырья, в том числе в рамках программ Центра исследования микро- и наноматериалов.

Геологическая документация, каменный материал и во многих случаях доступная информация о Кольской сверхглубокой скважине, десятке открытых и подземных рудников, тысячах разведочных скважин (глубиной от первых метров до первых километров) наземного и подземного заложения совместно с результатами наземных исследований и глубинного зондирования с земной поверхности (включая методы на основе мощных источников электромагнитного излучения) открывают уникальные, единственные для Земли возможности, а именно: перекрестно разными инструментальными методами, в разных ракурсах и масштабах, дополнительно и надежно, в свете новой глобальной задачи, изучить геопространство Печенгской структуры применительно к типам пород, условиям и месту их залегания.

Следует отметить, что в породах Печенги российскими и норвежскими геологами найдены окаменелые образцы древнейших, возрастом более 2 млрд лет, микроорганиз-

мов (*Pechengia melezhiki*), сформировавших на Земле важнейшие условия для будущей биологической эволюции (развития на кислородной основе) вплоть до высших форм. Эти сохранившиеся окаменелости, вероятно, можно считать признаком региональной геологической стабильности, столь необходимой долговременным ядерным объектам.

Не добрые ли это знаки, если учитывать, что по преданиям в «пещерах утеса из меди» Печенги было создано Сампо «Калевалы»? И не подсказка ли это к объединению на такой площадке усилий, и не только геологов, а хотя бы упомянутых специалистов и организаций, при «перезагрузке» финансирования на Печенгу от проектов хранилищ Yucca Mountain, на Новой Земле и других подобных проектов, не имеющих социокультурных оснований и не выдерживающих испытания временем. Необходимо надежно под землей экранировать источник электроэнергии (в случае АЭС) или искусственные, комплексно насыщенные газами гидротермы (в случае хранилища), неизбежно возникающие в породах, в которых надолго размещены высокоэнергетичные радиоактивные материалы.

Создание международного хранилища «Печенга/SAMPO» дает возможность не допустить тех опасных условий, которые были на Кольском полуострове (<http://andreeva.lgb.ru/index.html>), или подобных им, которые могут сложиться при исключительно российском ведении дел, хотя и в новых временных рамках.

Одним из важных аргументов против Печенгской геологической структуры и ее обрамления формально может быть то обстоятельство, что здесь ведется добыча медно-никелевых руд. Этот аргумент (как и против Стрельцовского рудного поля, Краснокаменск) есть производное от рекомендации (не более того) МАГАТЭ избегать изоляции ядерных материалов в зоне месторождений полезных ископаемых. Однако в случае Печенги совместный внимательный и объективный анализ текста этой рекомендации и конкретных горно-геологических и экономических условий работы хозяйствующего субъекта (компания «Норильский никель») приводит к выводу, что факт более чем 70-летней истории изучения и освоения медно-никелевых (сульфидных) месторождений Печенги является не осложняющим, а благоприятствующим фактором с учетом, кроме всего прочего, перспективы на 50—100 лет. Это время принятой в мире стратегии временного/отложенного хранения

ядерных материалов в наземных хранилищах.

Опыт США, Канады, Швеции, Финляндии и других стран (более передовых в программах создания подземных ядерных хранилищ, чем Россия) показывает, что и за 30—40 лет необходимых научно-технических и производственных работ ни одно хранилище требуемого качества еще не создано. В перспективе таких интервалов запаса времени до загрузки хранилища ядерным содержимым рассматриваемые месторождения будут гарантированно полностью отработаны, как, например, никелевая руда Мончегорска. И в настоящее время возможно выбрать перспективные участки нужных размеров, как расплывчато указано в упомянутой рекомендации МАГАТЭ, «не вблизи месторождений», с высокими гидроизолирующими свойствами [Комлев и др., 1999] и не в тектонически напряженных массивах [Ловчиков и др., 2007] (А. В. Ловчиков: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/3833.html>).

В рудниках Печенги нет той природно-техногенной сейсмичности, которая стала серьезной негативной проблемой при эксплуатации подземного пространства Хибинского и Ловозерского массивов. Вместе с тем месторождение «Антей» (Краснокаменск) расположено в тектонически напряженном массиве. Граниты, в которых предполагается строить ядерное хранилище, склонны к хрупкому разрушению и являются потенциально удароопасными [Дорджиев, 2011]. Геодинамические трудности при разработке гидротермальных месторождений Стрельцовского рудного поля требуют постоянного внимания, исследования и дополнительных затрат при ведении горных работ. Пример реальных разрушений — события марта 2012 г. на руднике «Глубокий».

На потенциальных площадках вблизи Красноярска оценить напряженное состояние пород возможно только косвенно — по результатам натурных наблюдений в подземных сооружениях Красноярского ГХК, принадлежащих к другому массиву и удаленных от гипотетического хранилища примерно на 30 км, или путем математического моделирования [Андерсон и др., 2011б; Камнев и др., 2012].

Именно Печенга максимально обеспечит выполнение рекомендации МАГАТЭ: известные месторождения исчезнут, а новые практически невероятны при высочайшей степени геологической изученности территории. Аналогия: в РАН (Н. П. Лаверов) такой же подход к Краснокаменску считают «единственно верным» (2011 г., <http://www.ras.ru/>)

FStorage/Download.aspx?id=bb9c25dd-630b-4f87-8d3e-6fad9a0ba9ca; 2005 г., newmdb.iaea.org/GetLibraryFile.aspx?RRoomID=694). Приаргунское производственное горно-химическое объединение может работать при существующих запасах урана 30—35 лет.

Вполне реальна перспектива международного геоядерного альянса на базе Росатома и компании «Норильский никель». Не исключен (как минимум для согласованных действий в энергетике и диверсификации активов компаний) и союз с Газпромом. Их кооперация сгладит проблемы поисков углеводородов в Арктике, а также будет способствовать формированию самостоятельной высокотехнологичной отрасли и международного технопарка, составной части базового пакета технологий для формирования национального (или международного, по примеру подземного хранилища семенного фонда Земли в Норвегии) резерва стратегических материалов на Севере России. Компания «Норильский никель» может рационально, заранее и с пользой продать горно-геологическую документацию и реальную инфраструктуру, постепенно и вынужденно сводя к нулю добычу руды в окрестностях Приречного, Никеля и Заполярного, или участвовать в альянсе для нового освоения подземного пространства Печенгской/Стрельцовской структуры.

При необходимости и на Таймыре, равноудаленном от западных и восточных поставщиков, либо на Северо-Востоке России можно найти пригодный массив и/или готовые выработки для хранилища, дополнительно изолированные покровом многолетнемерзлых пород. Удачным сочетанием для любых сценариев будущего ядерной энергетики может быть подземное хранилище вблизи Норильска и уже действующее наземное хранилище Красноярского ГХК.

**Вместо заключения.** Романтическое время, когда почти в каждой стране допускалось иметь собственный «ядерно-свечной заводик» полного цикла, закончилось. В СССР и Японии (отчасти, и в США) не обошлось без национальных ядерных катастроф. Велик риск террористического инициирования таких катастроф для некоторых стран Западной Европы с учетом их воинственной политики в южных, богатых углеводородами регионах. Подтверждение реальности этого и новых, изнутри, вызовов Европе — террористические акты 2011 г. в Норвегии и менталитет норвежского террориста, не исключая ядерные

объекты из числа потенциальных целей для подобных ему идейных борцов. При ликвидации последствий Чернобыльской и Фукусимской катастроф более эффективными оказались действия на основе государственной собственности и государственного управления, чем частные. Следует ожидать, что эффективное частно-государственное партнерство или межгосударственный уровень для таких ситуаций еще более надежен.

Видимо, свершившиеся и потенциальные «неприятности» — это довод для объединения усилий и повышения эффективности надзора, что, например, имеет наибольшие предпосылки реализации при создании международных подземных ядерных хранилищ на стыке стран или в труднодоступной для несанкционированных посещений местности (Печенга, Норильск/Билибино, Краснокаменск). Присоединиться к идее создания таких хранилищ было бы полезно, например, США, Канаде, Германии, Финляндии, Швеции (в том числе как владельцам-носителям технологий подземной изоляции), а также Японии, Беларуси, Литве, Украине, другим странам Восточной Европы, Армении и Казахстану. Комплексные международные исследования на сопредельных территориях — залог объективности и надежности научного обоснования и сопровождения работ.

В настоящее время на Западе принято выдвигать современные военные системы к границам России, например, ПРО в Европе, а также планы появления оружия НАТО в Финляндии, отзвуком которых является жесткая риторика В. В. Путина (<http://www.rg.ru/2012/06/23/putin-finland-site.html>). В последние годы и Россия предполагает адекватную дислокацию своих тактических и зенитных ракет. Контактное расположение ядерных хранилищ у границ с российской стороны будет некоторым фактором доверительного ядерного сдерживания — материальной гарантией неприменения этих систем против России, и поддержит символику тополей Д. О. Рогозина (<http://www.radiovesti.ru/articles/2012-01-14/fm/28560>) заменой той гарантии, которую хотя бы на уровне политических заявлений долго и безуспешно пытается получить руководство РФ от иностранных партнеров.

ЕС стремится к потреблению электроэнергии российских АЭС. Формируется справедливое мнение, что страны-потребители импортируемого «атомного электричества» должны юридически выравнивать стандарты безопасности по обе стороны границы, нести



часть бремени решения проблем отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов и вывода из эксплуатации АЭС стран, производящих такое электричество (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3483>).

На Мурмане нет месторождений урана. Молодой геолог Н. П. Лаверов их здесь не нашел. Академик Н. П. Лаверов и представители его научно-практической (ИГЕМ, МГИМО) школы могли бы «исправить кольское природно-политическое недоразумение», поддерживая создание Печенгской техногенной залежи ядерных материалов и разработку методов контроля условий ее функционирования, в том числе правовых и дистанционных геофизических.

Вместе с тем хранилище вблизи Красноярска или Челябинска при его долгой жизни, как и «ружье на стене», обязательно «выстрелит» для внешнего «принуждения к миру» в центре России. Кроме того, в России и Германии понимают, что при нынешних тенденциях через 50 лет почти не останется государств, заинтересованных в российском природном газе [Рар, 2011].

Площадка «Печенга» расположена у северо-западной, площадка «Краснокаменск» — у юго-восточной границ РФ. С одной стороны — потребности, как минимум, Европы, с другой — Японии, Южной Кореи и Китая, и везде — США. Причем Печенга и Краснокаменск отчасти альтернативны по месту, но объединяют их геологические концепции хранилищ в гнейсах и гранитах (Швеция, Финляндия, Красноярский край, Сайда-Губа и Дальние Зеленцы) и вулканогенно-осадочных породах (Yucca Mountain, Челябинская область). Краснокаменск и Печенга образуют как бы единую систему (от исследований до реализации) аналогично системе портовых комплексов для экспортно-импортной перевалки ядерных материалов — транспортно-логистический комплекс (ТЛК) «Запад» (Усть-Луга) и ТЛК «Восток» на Дальнем Востоке. На Кольском полуострове такую функцию могут выполнять береговые базы Росатома (Атомфлот и СевРАО) или реконструированный (<http://m51.ru/?p=5722>) международный морской торговый порт «Печенга».

Однако инициативу по размещению зарубежного отработавшего топлива и высокоактивных отходов у Краснокаменска может перехватить Монголия, а у Печенги — Финляндия. Не исключено, что конкуренцию или ком-

панию Краснокаменску (как и Семипалатинску или системе Печенга — Краснокаменск) в какой-либо форме может составить и Китай, который к 2050 г. создает вблизи южной границы Монголии, примерно на равном расстоянии от Семипалатинска и Краснокаменска, национальное (пока) геологическое хранилище Бейшан (Beishan). По крайней мере, уже имели место зондирующие ситуацию заявления о готовности страны принимать на долговременное хранение зарубежные ядерные материалы. Нужно понимать, что Китай в принципиально важных делах достойно полностью самостоятелен и до поры закрыт. Поэтому надежно оценить планы Китая в направлении международной кооперации для завершающих стадий ядерного топливного цикла сейчас сложно. Возможно, китайские коллеги еще выжидают.

В «остальном мире» только-только и радикально меняется подход: от строгой обязательности национальных хранилищ к интернационализации. То обстоятельство, что одна из потенциальных площадок создаваемой международной системы — Краснокаменск, не должно оставить Китай равнодушным.

Кроме того, транснациональная полифункциональная система обращения с ядерными материалами существует и развивается дальше. И Китай, несмотря на его неторопливость и самостоятельность в стратегических вопросах, уже приобщен к ней. Пока наиболее представлен оборот исходного урана. Это начало ядерного топливного цикла. Как видим, в рамках общей тенденции просматриваются уже и контуры международной кооперации в сфере завершающих стадий данного цикла. Причем разные страны могут осуществлять одну или несколько функций: поставки, приемки, перевозки, транзита, контроля. Если ключевым становится Краснокаменск, то Китай, даже при создании полностью самодостаточной национальной системы хранения и захоронения собственных ядерных материалов, не может не влиять на транснациональную систему, поскольку последняя должна территориально «привязываться» к инфраструктурам Евразийского материка. Китай может соучаствовать в ней в той части, которая не ограничивает его национальные интересы, в контексте и ядерного нераспространения, и накопления у себя запасов ценного сырья для технологий редких элементов, а расширяет их. Китай, несомненно, примет весомое решение относительно концепции и проектов подземных международных хранилищ ядерных материалов, но позже.

Многое надо учитывать, решая вопрос о месте размещения объекта.

Благодарю за поддержку исследований профессоров В. Falkenburg, N. Witoszek, D. Maser,

V. Masloboev, O. Ivanov, а также научных сотрудников Института философии и политологии Дортмундского технического университета (Германия).

### Список литературы

- Андерсон Е. Б., Савоненков В. Г., Шабалев С. И. Геологические формации, перспективные для изоляции РАО // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. — 2011а. — № 1. — С. 54—58.
- 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. — Москва: Горная книга, 2011б. — 592 с.
- Белоусов В. И., Рычагов С. Н., Комлев В. Н., Коробов А. Д., Жатнуев Н. С., Кузьмин Ю. Д., Трухин Ю. П. Печенгская глубинная и другие гидротермальные системы: новый взгляд на изоляцию ядерных материалов от биосферы // Урал. геол. журн. — 2001. — № 3. — С. 131—153.
- Дорджиев Д. Ю. Обеспечение устойчивости разработок в рудном массиве при разработке удароопасных урановых месторождений: Дис. ... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2011. — 145 с.
- Камнев Е. Н., Морозов В. Н., Шициц И. Ю. Выбор площадок для захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях. — Москва, 2012. — 216 с.
- Колдобский А. Б. Мирный атом после цунами. — [Электрон. ресурс]: <http://www.globalaffairs.ru/number/Mirnyi-atom-posle-tsunami-15187> (дата обращения 23.05.11).
- Комлев В. Н., Бичук Н. И., Зайцев В. Г., Мелихова Г. С. О перспективности площадок северо-западной части Мурманской области для размещения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива // Тез. докл. конф. «Радиационная безопасность: радиоактивные отходы и экология». — Санкт-Петербург, 1999. — С. 24—25.
- Комлева Е. В. Ядерные отходы, газовые месторождения и безопасность Севера Европы // ЭКО: Всерос. экон. журн. — 2007. — № 3. — С. 104—111.
- Кому нужен сибирский атом? — [Электрон. ресурс]: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3013> (дата обращения 23.05.11).
- Криворотов А. К. Северный шельф перед лицом глобальной нестабильности // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения-2010. — Апатиты, 2010. — С. 40—45.
- Лаверов Н. П., Величкин В. И., Пэк А. А. Радиогеоэкологические проблемы начального и завершающего этапов ядерного топливного цикла // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. — 2010. — № 4. — С. 26—33.
- Ловчиков А. В., Угалов А. Е., Белявский Ю. Г. Напряженное состояние пород в верхних слоях земной коры по данным натурных измерений в рудниках вблизи скважины СГ-3 // Вестн. МГТУ. — 2007. — 10, № 2. — С. 267—272.
- Мельников Н. Н., Конухин В. П., Наумов В. А., Амосов П. В., Гусак С. А., Наумов А. В., Орлов А. О., Смирнов Ю. Г., Караваев Е. В., Новожилова Н. В., Климун С. Г. Научные и инженерные аспекты безопасного хранения и захоронения радиационно опасных материалов на Европейском Севере России. — Апатиты, 2010. — 305 с.
- Перовский В. А. Где взять радиоактивные отходы для Сайды? — [Электрон. ресурс]: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2838> (дата обращения 23.05.11).
- Просвирнов А. Джин снова вышел из лампы — первые уроки Фукусима-1. — [Электрон. ресурс]: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2934> (дата обращения 23.05.11).
- Рар А. Я рассматриваю Балтийский газопровод в качестве стабилизирующего фактора: Интервью // В мире науки. — 2011. — № 11. — С. 92—93.
- Рядом со «шведской Фукусимой» планируют строить «вечное» хранилище ядерных отходов. — [Электрон. ресурс]: <http://www.dw-world.de/dw/article/0,,14939212,00.html> (дата обращения 23.05.11).
- Саркисов А. А. Проблемы реализации интеграционного подхода к обращению с радиоактивными отходами в северо-западном регионе России и окончательной их изоляции. [Электрон. ресурс]: [http://www.fcp-radbez.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=355&Itemid=386](http://www.fcp-radbez.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=355&Itemid=386) (дата обращения 23.05.11).
- Сергеев А. С., Богданов Р. В., Комлев В. Н. Оценка геологических формаций северо-западного региона России как среды размещения подземного хранилища радиоактивных отходов // Тез. докл. конф. «Радиационная безопасность: радиоактивные отходы и экология». — Санкт-Петербург, 1999. — С. 88—89.
- Череповицын А. Е., Жуков А. М. Стратегический анализ возможностей и угроз освоения углеводородных ресурсов Западной Арктики // Север и

- Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения-2010. — Апатиты, 2010. — С. 61—69.
- Штокман* // Север промышленный. — 2011. — № 1. — С. 4—5.
- Project-408* in the framework of the UNESCO Int. Geol. Correlation Programme «Comparison of composition, structure and physical properties of rocks and minerals in the Kola Superdeep Borehole (SG-3) and their homologues on the surface» / Eds F. P. Mitrofanov and F. F. Gorbatsевич. — Apatity: Geol. Inst/ of Kola Sci/ Centre RAS, 2000. — 153 p.
- SKB&NEDRA* Technical Report 92—39. 1992 // Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. — CM Gruppen Bromma, 1993. — 116 p.