

#### Швеция

19 октября 2021 года шведское Управление по радиационной безопасности (SSM) выступило с очередным заявлением по поводу экспертизы документов, подготовленных SKB в рамках процесса получения лицензии на строительство пункта глубинного геологического захоронения ОЯТ и расширение имеющегося пункта хранения Slab<sup>1</sup>. Процесс лицензирования был запущен еще в марте 2011 года. Заявки прошли экспертизу как со стороны ядерного регулятора Швеции SSM, так и Суда по вопросам охраны окружающей среды: первым проектом был рассмотрен с позиции обеспечения ядерной безопасности, вторым — с точки зрения защиты окружающей среды. В январе 2018 года положительные решения SSM и Суда по данному проекту были направлены на рассмотрение правительству страны.

26 августа 2021 года проект расширения действующего пункта хранения (ПХ) ОЯТ был одобрен правительством Швеции, а принятие окончательного решения по вопросу строительства ПГЗРО и завода по инкапсуляции ОЯТ было отложено. Формальным поводом для этого стали сомнения экспертов в надежности медных контейнеров, планируемых к использованию для захоронения ОЯТ, в свете результатов двух недавно опубликованных исследований, в рамках которых были проведены исследования процессов коррозии двух конструкционных материалов контейнера: чугуна и меди.

В течение месяца SSM изучало вопрос актуальности и применимости результатов этого исследования в контексте реализуемого в Швеции проекта по глубинному геологическому захоронению ОЯТ. В итоге специалисты пришли к заключению, что данные исследования, несомненно, представляют интерес с точки зрения фундаментальной науки, но в связи с осуществляемым проектом и ранее сделанными выводами о надежности контейнеров никоим образом не способны повлиять на уже имеющееся положительное экспертное решение.

<sup>1</sup> В заявке ПХ CLAB и завод по инкапсуляции ОЯТ рассматриваются как один объект, получивший название Clink.

В частности, SSM ссылается на результаты экспериментов, проводившихся в течение длительного времени в лаборатории Äspö (проект LOT), в рамках которых в условиях ПГЗРО, приближенных к реальным, моделировались поведение материала контейнеров и изменения минерального состава бентонита, а также процессы, протекающие в буфере, обусловленные коррозией меди, переносом катионов и жизнедеятельностью микроорганизмов. Кроме того, регулятор ссылается на успешный опыт Финляндии, где уже ведется строительство ПГЗРО. Еще один немаловажный аспект заключается в том, что промедление в решении вопроса о строительстве ПГЗРО в Швеции повлечет за собой гигантские издержки: затраты на промежуточное хранение ОЯТ оцениваются в сумму до 1 млрд шведских крон (около 100 млн долларов США) в год [1].

В итоге представители и регулятора, и оператора на проведенном 15 октября 2021 года вебинаре сошлись во мнении, что правительство Швеции должно поспешить с принятием окончательного решения по вопросу строительства ПГЗРО в стране.

#### США

В начале ноября 2021 года Окриджское управление по защите окружающей среды (англ. Oak Ridge Office of Environmental Management) и компания Isotec, выступающая в качестве подрядчика, завершили реализацию двухлетнего проекта по переработке и захоронению партии низкоактивного урана (<sup>235</sup>U), ранее хранившегося на территории Окриджской национальной лаборатории в Теннесси [2].

Уран-233 — это техногенный изотоп; в 1950-х годах его планировалось использовать в качестве альтернативного источника топлива для ядерных реакторов. Позднее данная концепция была признана неперспективной. Тем не менее проведенные исследования привели к накоплению значительных объемов этого материала, помещенного на хранение в Здание 3019, признанное Министерством энергетики США самой старой все еще действующей ядерной установкой в мире.

В ноябре 2019 года Компания Isotek Systems, TerraPower и DOE подписали соглашение о государственно-частном партнерстве по использованию ториевого материала, извлеченного из накопленных объемов  $^{235}\text{U}$ , с намерением увеличения поставок медицинского радиоизотопа актиния-225. Предлагаемая технология переработки также позволяет получить пригодную для окончательного захоронения форму вторичных отходов [3].

Для работы с контейнерами, содержащими  $^{235}\text{U}$ , требовалось применение дистанционного управляемых механических рук-манипуляторов, а также защитных экранов (рис. 1). В начале 2020 года компания Isotek Systems провела работы по модернизации оснащения уже имеющихся горячих камер в здании 2026 на территории Окриджской лаборатории. Они уже получили некоторое загрязнение в ходе проведения исследований в прошлом, поэтому персонал допускался к работам на данном объекте только в специальной защитной экипировке. Кроме того, для обеспечения безопасности на площадке возводились защитные шатры, ограничивающие распространение радиоактивного загрязнения при вскрытии горячих камер.



Рис. 1. Процесс обращения с  $^{235}\text{U}$  в горячей камере на территории Окриджской лаборатории

Старое оборудование демонтировали, освобождая место для новых установок, включая порталы самих камер для обеспечения удобства загрузки и выгрузки материала. Были смонтированы режущие приспособления, необходимые для вскрытия контейнеров для хранения  $^{235}\text{U}$ , системы подачи химических реагентов, фильтрационные системы для извлечения тория и дистанционно управляемые манипуляторы. Рабочие помещения были переоборудованы с целью размещения крупногабаритных резервуаров для разбавленного материала. Двухуровневый бункер, в котором он смешивается с цементом, был размещен снаружи, на площадке

установки. Все работы в рамках данной программы были завершены в ноябре 2021 года [2].

К настоящему времени на площадке завершены работы по модернизации и установке нового оборудования, что позволит перейти к следующему этапу проекта — переработке материалов, содержащих  $^{235}\text{U}$ , более высокой активности, который должен стартовать в начале 2022 года. Ожидается, что на данном этапе удастся добиться более высоких темпов переработки и выделить большее количество медицинских изотопов [2].

### Великобритания

В середине ноября 2021 года жители муниципалитета Средний Коупленд<sup>2</sup> (Камбрия) заявили об учреждении общественного комитета, членам которого предстоит на долгосрочной основе участвовать в процессе выбора потенциально пригодных участков для строительства пункта геологического захоронения РАО в Великобритании. Спустя месяц аналогичное решение было принято жителями Южного Коупленда. Благодаря предпринятому шагу каждому муниципалитету будет предоставлено ежегодное финансирование в размере около 1,3 млн долларов США. Его объем планируется увеличить до 3,25 млн долларов США в случае предоставления муниципалитетами разрешения на проведение глубоких скважинных исследований на собственных территориях [4, 5].

Общественный комитет Среднего Коупленда займется проведением работ по информированию населения Госфорта, Сискейла и Бекермета, где располагаются потенциально пригодные для сооружения ПГЗРО участки<sup>3</sup>. Основное внимание RWM (оператора по обращению с РАО Великобритании) будет уделено изучению глубинного геологического строения данных территорий.

Вместе с тем, как показал прошлый опыт, успех работ в данной области напрямую зависит не только от результатов исследований, но и от уровня принятия идеи строительства ПГЗРО местными жителями. Ранее успешному продвижению программы по захоронению помешало вето, наложенное местным советом графства Камбрия в 2013 году. Стремясь избежать допущенных в прошлом ошибок, RWM намеревается обеспечить наиболее полное информирование местного населения на протяжении всего этапа

<sup>2</sup> Англ. Mid Copeland.

<sup>3</sup> Исследования не будут проводиться на территории национального парка, а также из рассмотрения исключены территории существующих и будущих угольных шахт.

поиска площадки, который, как предполагается, может занять от 10 до 15 лет. В случае признания какой-либо конкретной площадки пригодной для сооружения ПЗРО, будет проведен опрос общественного мнения среди населения близлежащих территорий, что позволит каждому жителю выразить свою позицию по данному вопросу.

### Чехия

В конце ноября 2021 года компания Шкода заявила о завершении разработки проекта по созданию упаковок, предназначенных для захоронения чешского ОЯТ в пункте глубинного геологического захоронения [6]. Их планируется изготавливать из коррозионностойкой стали, что позволит герметично изолировать ОЯТ, извлекаемое из реакторов типа ВВЭР<sup>4</sup> (рис. 2).



Рис. 2. Проект новой канистры для захоронения чешского ОЯТ, разработанной специалистами компании Шкода

Проект предусматривает размещение ОТВС внутри герметичной оболочки из нержавеющей стали, которая, в свою очередь, будет помещена во внешнюю цилиндрическую из углеродистой стали, запаиваемую с обоих концов. Использование таких коррозионностойких материалов обеспечит надежность и безопасность упаковки на протяжении нескольких сотен тысяч лет.

Проекты контейнеров для ОТВС ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 практически идентичны. Контейнер, предназначенный для ОЯТ ВВЭР-440, сможет вместить 7 топливных сборок при длине упаковки 4 м, а контейнер для ОЯТ ВВЭР-1000 — 3, и его длина составит почти 5 м. Диаметр обеих цилиндрических канистр составит 91 см, что обеспечит простоту выполнения операций по обращению с ними при их транспортировке.

<sup>4</sup> В Чехии две АЭС с реакторами ВВЭР, включая четыре реакторные установки АЭС Дукованы (ВВЭР-440) и две — на АЭС Темелин (ВВЭР-1000), вместе обеспечивающие выработку около одной трети всего объема электроэнергии, производимой в стране.

### Австралия

В конце ноября 2021 года в Австралии была официально утверждена площадка для проведения детальных исследований в рамках процесса создания национального пункта захоронения низко- и среднеактивных долгоживущих отходов (НАО и САО), а также пункта промежуточного хранения САО — участок Напанди в окрестностях города Кимба в штате Южная Австралия (рис. 3) [7].

В Австралии нет АЭС, тем не менее накопление РАО все же происходит в результате эксплуатации исследовательских, промышленных и медицинских ядерных установок. Объем ежегодно образующихся РАО, преимущественно низкого уровня активности, составляет около 45 кг. В настоящее время в стране отсутствуют пункты централизованного хранения и захоронения РАО: накопленные объемы размещены в более чем сотне различных учреждений по всей стране. В этой связи строительство централизованного ПЗРО рассматривается австралийским правительством в качестве одной из приоритетных задач.



Рис. 3. Участок Напанди, рассматриваемый в качестве потенциальной площадки для строительства комплекса централизованного хранения и захоронения РАО в Австралии

Общенациональный конкурс по выбору площадки для ПЗРО и ПХ был объявлен в 2015 году. По его результатам на добровольной основе было выбрано 6 площадок-кандидатов в качестве потенциально пригодных для размещения установок как для НАО, так и для САО. В 2017 году владелец участка в Напанди по собственной инициативе предложил правительству страны приобрести 211 га собственных земель для этих целей. В сентябре 2020 года профильный комитет австралийского Сената рекомендовал внести необходимые поправки в положения Национального законодательства Австралии в области обращения с РАО от 2012 года, которые

бы позволили рассматривать данный участок в качестве приоритетной площадки для размещения ПЗРО.

11 августа 2021 года Министерство природных ресурсов Австралии выступило с официальным заявлением о своем намерении утвердить данную площадку в качестве наиболее приоритетной, за чем последовала серия консультаций с представителями правительства, которое в конце ноября 2021 года подтвердило свое решение о признании площадки в Напанди в качестве наиболее приоритетной.

В ближайшее время AWRA (австралийский оператор по обращению с РАО) предстоит проведение детальных исследований площадки, а также завершение разработки проекта установок, после чего можно будет приступить к выполнению строительных работ. Реализация данного проекта обеспечит дополнительное финансирование муниципалитета Кимба — всего на его развитие будет выделено около 22 млн долларов США.

Помимо этого проекта, AWRA также планирует запустить отдельную программу по поиску площадки для строительства пункта захоронения САО. Вероятнее всего, для окончательной изоляции РАО этой категории потребуется строительство пункта глубинного геологического захоронения.

### Канада

В конце ноября 2021 года Канадская организация по обращению с ядерными отходами (англ. Nuclear Waste Management Organization, NWMO), ответственная за реализацию проекта глубинного геологического захоронения РАО в Канаде, завершила буровые работы в Игнасе — районе, рассматриваемом в качестве потенциально пригодного для строительства пункта захоронения ОЯТ [8]. Всего за 4 года на площадке было пройдено около 6 км скважин (рис. 4).



Рис. 4. Породы, извлеченные из скважин, пробуренных в Игнасе

К работам по бурению первой скважины в 35 км к западу от Игнаса специалисты NWMO приступили в ноябре 2017 года. С тех пор было пройдено в общей сложности 6 скважин, каждая протяженностью около 1 км. Работы предусматривали применение традиционных горнопроходческих технологий: использовались смонтированные либо на буровой тележке, либо на салазках установки роторного бурения. В среднем на проходку одной километровой скважины и проведение необходимых испытаний у специалистов уходит около 120 дней. Завершение этого этапа работ стало важной вехой в реализации всего проекта: его результаты позволят сделать вывод о возможности строительства ПЗРО на данных территориях. Ожидается, что скважинные испытания будут завершены в течение нескольких месяцев.

В 2021 году аналогичные работы были начаты и на территории муниципалитета Южный Брюс — еще в одном потенциально пригодном для строительства канадского ПЗРО регионе. Их завершение намечено на середину 2022 года.

Окончательное решение о месте размещения ПЗРО планируется принять в 2023 году, затем, в 2024 году, последуют работы по подробной характеристике выбранной площадки, государственная оценка воздействия объекта на окружающую среду и процесс лицензирования. Согласно положениям стратегического плана NWMO, рассчитанного на пятилетнюю перспективу, работы по сооружению ПЗРО должны стартовать в 2033 году, а запуск объекта в эксплуатацию может состояться в 2040–2045 гг.

### Франция

В начале декабря 2021 года французские компании EDF и Veolia объявили об учреждении совместного предприятия Waste2Glass, работа которого будет направлена на развитие технологии остекловывания РАО GeoMelt (рис. 5). В его планах — расширение области применения



Рис. 5. Стекло GeoMelt

данной технологии, в настоящее время ограниченной обращением лишь с отходами высокого уровня активности [9].

Изначально технология GeoMelt была разработана в 1980 году специалистами одной из лабораторий Министерства энергетики США с целью иммобилизации РАО посредством их заключения в стеклянную матрицу, что позволяет получать стабильную и прочную форму отходов, облегчающую процесс их дальнейшей транспортировки и хранения. В частности, технология GeoMelt была применена для целей отверждения более чем 26 тыс. тонн радиоактивных и токсично опасных отходов, в том числе на таких крупнейших в мировом масштабе площадках ядерного наследия, как Хэнфорд (США) и Селлафилд (Великобритания). В 2012 году права на данную технологию были приобретены американской компанией Kurion, а 2016 году их перекупила французская Veolia.

Согласно планам новое предприятие Waste2Glass будет базироваться в городе Лимай в регионе Иль-Де-Франс на северо-востоке страны. Там планируется построить опытно-демонстрационный комплекс, который позволит оценить потенциал технологии в контексте обращения с широким спектром РАО. На основании результатов опытно-промышленной эксплуатации данной установки EDF и Veolia планируют получить необходимые сертификаты, которые позволят компаниям выйти на промышленный уровень переработки РАО различного уровня активности.

## ERDO<sup>5</sup>

В середине декабря 2021 года были опубликованы результаты нового исследования компании Deep Isolation, изучившей перспективы реализации концепции глубинного скважинного захоронения средне- и высокоактивных (ВАО) долгоживущих отходов в глубоких скважинах [10]. Эксперты признали эту стратегию осуществимой и экономически эффективной в контексте решения проблем обращения с РАО пяти европейских стран.

Заказчиком данного исследования стал норвежский оператор по выводу из эксплуатации ядерных установок (NND), выступивший от лица «Европейской организации по разработке мультинациональных проектов захоронения» (ERDO), учрежденной в 2021 году. Отчет, опубликованный NND, представляет собой часть

усилий, реализуемых с целью оценки общих перспектив внедрения технологии глубинного скважинного захоронения РАО в Хорватии, Дании, Нидерландах, Норвегии и Словении.

Согласно оценкам экспертов, лишь 1% от общего объема РАО, накопленных в странах ERDO, может быть захоронен в пунктах глубинного скважинного захоронения. Тем не менее это соответствует почти 100% всего объема накопленных в этих странах РАО с высоким уровнем тепловыделения. Следовательно, странам ERDO потребуется создать один или несколько пунктов геологического захоронения для изоляции больших объемов НАО и ВАО с низким уровнем тепловыделения, непригодных для размещения в пункте скважинного захоронения.

Вместе с тем этот проект позволит добиться существенного снижения общих затрат на захоронение РАО. Согласно оценкам специалистов Deep Isolation, затраты на создание пункта скважинного захоронения составят приблизительно одну треть от суммы, необходимой для создания обычного пункта геологического захоронения.

Ранее были проведены предварительные оценки общих затрат на создание обычного ПГЗРО с горизонтальной ориентацией скважин захоронения, способного вместить весь объем РАО, накопленных в странах ERDO: стоимость его создания оценивается в 418 — 560 млн евро при дополнительных затратах порядка 124 млн евро на проведение работ по характеристике площадки, лицензированию и мониторингу объекта после его закрытия.

Также в отчете NND представлены рекомендации относительно следующих шагов по реализации стратегии скважинного захоронения РАО в Европе: в первую очередь речь идет о создании полноценного опытно-демонстрационного комплекса.

Тем временем в августе 2021 года оператор по обращению с РАО Словении (АРАО) подписал контракт с компанией Deep Isolation на проведение технико-экономического обоснования концепции глубинного скважинного захоронения РАО: речь прежде всего идет о возможности захоронения ОЯТ из исследовательского реактора TRIGA II, расположенного на территории Института Йозефа Стефана в Любляне. Deep Isolation уже завершила работу над этим технико-экономическим обоснованием в рамках проекта по внедрению передовых реакторных технологий, реализуемого американским Научно-исследовательским институтом электроэнергетики и Эстонской компанией Fermi Energia.

<sup>5</sup> Европейская организация по разработке совместного проекта захоронения.

Литература

1. Swedish regulator maintains positive repository assessment, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Swedish-regulator-maintains-positive-repository-as?feed=feed> (дата обращения: 19.10.2021).
2. Isotope-producing legacy waste disposition project moves to next phase, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Isotope-producing-legacy-waste-disposition-project?feed=feed> (дата обращения: 05.11.2021).
3. Oak Ridge prepares for legacy waste processing, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Oak-Ridge-prepares-for-legacy-waste-processing?feed=feed>, (дата обращения: 23.01.2020).
4. First community partnership established in Cumbria, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/First-Community-Partnership-established-in-Cumbria?feed=feed> (дата обращения: 16.11.2021).
5. Second community partnership forms in Cumbria, World Nuclear News, URL: [- \[forms-in-Cumbria?feed=feed\]\(https://world-nuclear-news.org/Articles/Second-community-partnership-forms-in-Cumbria?feed=feed\) \(дата обращения: 14.12.2021\).
  6. Package ready for Czech used fuel disposal, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Package-ready-for-Czech-used-fuel-disposal?feed=feed> \(дата обращения: 25.11.2021\).
  7. South Australian site to host national radwaste facility, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/South-Australian-site-to-host-national-radwaste-fa?feed=feed> \(дата обращения: 29.11.2021\).
  8. Drilling completed at first Canadian repository candidate site, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Drilling-completed-at-first-Canadian-repository-ca?feed=feed> \(дата обращения: 30.11.2021\).
  9. Joint venture to develop GeoMelt vitrification technology, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Joint-venture-to-develop-GeoMelt-vitrification-tec?feed=feed>, \(дата обращения: 01.12.2021\).
  10. Deep borehole disposal suitable for ERDO countries, study shows, World Nuclear News, URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Deep-borehole-disposal-suitable-for-ERDO-countries?feed=feed>, \(дата обращения: 14.12.2021\).](https://world-nuclear-news.org/Articles/Second-community-partnership-</a></li></ol></div><div data-bbox=)

*Обзор подготовила Н. С. Цебаковская*