

Ликвидация радиоактивных отходов: мировой опыт и проблемы

Накопив богатый опыт в деле ликвидации отходов с низким и средним уровнями радиоактивности, человечество берется за решение новых проблем

Со времени проведения в 1944 г. первого мероприятия по ликвидации радиоактивных отходов в Ок-Ридже, штат Теннесси, США, человечество накопило в этой области значительный опыт. Первое место, где происходила ликвидация таких отходов — а это были “сильно загрязненная [радиацией] битая лабораторная посуда и прочие материалы, недостаточно чистые для последующего использования”, — являло собой обычный ров, или траншею, выкопанный на площадке в Ок-Ридже, куда они и были сброшены без какой-либо предварительной обработки. На ранних этапах развития атомной энергетики в США и других странах аналогичный метод практиковался и на иных ядерных установках и объектах, производящих радиоактивные отходы.

В современном мире ликвидация отходов с низким и средним уровнями радиоактивности (ОНСУР) осуществляется методом их захоронения, которое варьируется от приповерхностных хранилищ до специально оборудованных инженерных геологических хранилищ. В странах — членах МАГАТЭ существует уже более ста таких захоронений, некоторые из них еще продолжают принимать отходы, а более 42 находятся на различных стадиях разработки и строительства. (См. табл. на стр. 38 и 39.)

Вместе с прогрессом в данной области в странах, осуществляющих захоронение радиоактивных отходов различными способами, появилось много новых вопросов и проблем. На глобальном уровне МАГАТЭ стремится помочь им в этой деятельности, способствуя передаче технологии, особенно развивающимся странам. Эта работа включает сбор, обобщение и распространение новой технической информации и поддержку координированных программ исследований по конкретным техническим аспектам. В контексте вышеизложенного настоящая статья представляет собой обзор международного опыта в деле захоронения ОНСУР на суше и рассматривает новые вопросы и проблемы, которые встанут перед странами в этой области.

Сложившаяся практика и тенденции

Выбор площадки. Размещение сооружения для захоронения радиоактивных отходов сводится к выбору подходящего места, отвечающего определенным техническим и другим условиям. Список технических условий довольно обширен: геология участка, его гидрогеология, геохимия, тектоника и сейсмичность, поверхностные процессы, метеорология, антропогенная деятельность, перевозка радиоактивных отходов, землепользование, распределение населения и охрана окружающей среды. Другим ключевым фактором наших дней является согласие населения, особенно в промышленно развитых странах, где позиция местного населения — “где угодно, только не у нас” — может серьезно помешать размещению хранилищ любых промышленных отходов, не говоря уже о радиоактивных. Поэтому на ранних этапах выбора площадки планировщикам приходится особое внимание уделять факторам социального характера. В некоторых случаях хранилища устраиваются на тех же площадках, на которых уже расположены ядерные установки, например Дригт (Соединенное Королевство), Сантр-де-Ла-Манш (Франция), Роккасе (Япония), Олкилуото (Финляндия). В некоторых странах также обсуждается концепция создания региональных хранилищ международного использования (подробнее об этом сказано ниже), однако ни одно такое хранилище еще не построено в силу факторов политического порядка и противодействия общественности.

К настоящему времени в мире выбрано не менее 17 площадок с целью создания новых хранилищ для ОНСУР; на некоторые из них уже выданы лицензии, другие находятся на этапе строительства, а еще свыше 25 площадок в 17 странах изучаются специалистами. К числу этих стран относится Китай, который планирует создать четыре хранилища для ОНСУР и уже выбрал два участка под их строительство в северо-западном и южном районах страны. Площадка на северо-западе расположена на территории засушливой и малонаселенной пустыни Гоби. В США после принятия в 1980 г. закона о деятельности в отношении низкоактивных отходов для таких отходов не было сооружено ни одного нового промышленно-

**Кьён Вон Хан,
Йорма
Хейнонен и
Арнольд Бонн**

Г-н Бонн — руководитель Секции технологии обращения с отходами Отдела ядерной энергии и топливного цикла МАГАТЭ, а г-н Хейнонен и г-н Хан — сотрудники этого Отдела.

го хранилища. В восьми штатах страны процесс выбора площадок находится на той или иной стадии прогресса. Четыре участка уже определены — в штатах Небраска (центральная межштатная зона захоронения), Северная Каролина (юго-восточная зона), Калифорния (юго-западная зона) и Техас (предполагаемая техасская зона), — и на них сейчас оформляются лицензии.

Чтобы заручиться согласием и поддержкой общественности, страны принимают разные меры. В Австралии выбор площадки под инженерное хранилище для ОНСУР сопровождается интенсивными консультациями с общественностью. В Канаде, где оппозиция со стороны местного населения привела к задержке выбора участка для хранения отходов предприятий по обогащению радия и урана, правительство остановило процесс выбора первой площадки и ввело в действие пятиэтапную совместную программу, осуществляемую независимой целевой группой по выбору участка. Группа работает в тесном контакте с муниципальными советами затронутых общин и группами по связи с общинами, созданными в качестве каналов для информирования широкой общественности. В Венгрии, после того как две попытки разместить хранилище оказались неудачными, Комиссия по атомной энергии в 1992 г. начала реализацию национального проекта выбора участка для хранения ОНСУР. Следуя принципу добровольности со стороны местного населения, Комиссия нашла общины, которые выразили готовность предоставить свои территории для захоронения радиоактивных отходов, и из предложенного числа отобрала шесть площадок. При этом местные жители также будут привлечены к детальному обследованию участков. Аналогичный подход начал находить применение и в США. Например, в штате Коннектикут, где сначала выбор участка под строительство хранилища встретил сопротивление, процесс был скорректирован в сторону большего участия населения в двух аспектах — «выбор и контроль», — что может оказать значительное влияние на то, как осознается и принимается процесс выбора площадки.

Факторы, определяющие конструкцию хранилища. В конечном счете тип хранилища определяется геологическими условиями, которые преобладают в той или иной стране, конкретными требованиями к данному захоронению и общими регулирующими положениями. Все эти факторы напрямую связаны с конструкторским решением хранилища, основное назначение которого — ограничить выделение радиоактивных загрязнителей или радионуклидов в биосферу, свести к минимуму облучение рабочих и населения, а также свести к минимуму необходимость в техническом обслуживании хранилища после его закрытия. Достичь этих целей можно при помощи таких технических мер — или их сочетания, — как упаковка отходов в контейнеры, инженерное оборудование хранилищ и использование особенностей самой площадки.

Некоторые наблюдаемые тенденции в конструировании хранилищ связаны с технологическими достижениями в области захоронения отходов и обеспокоенностью общественности вопро-

сами безопасности. Основная общая тенденция заключается в том, что при захоронении больше полагаются на систему нескольких инженерных средств изоляции, обеспечивающих удержание отходов. Такая система включает бетонные бункеры или камеры, закладочные материалы для обратной засыпки, химические средства изоляции, вентиляцию для удаления газов, отвод воды и создание на поверхности земли буферных зон.

В мире существует несколько типов хранилищ для ОНСУР. Приблизительно 62% из них — это инженерные приповерхностные хранилища (ИППХ), расположенные на глубине порядка 10 м, 18% — простые приповерхностные хранилища (ПППХ), 7% — пустоты от горных выработок (ПГВ) и 4% — геологические хранилища (ГХ). Тип хранилища и его устройство в конечном счете определяются спецификой самих отходов, характером площадки, государственной стратегией в этой области, а также социальными и экономическими факторами. Ниже приводится краткий обзор нескольких типов хранилищ.

Простые приповерхностные хранилища (ПППХ). Примерами сооружений такого типа являются хранилища в Барнуэлле (США) и Ваальпутсе (Южная Африка). При их выборе использовали то обстоятельство, что на площадке имеется слой глины, обладающей низкой водопроницаемостью, и/или они находятся в районе, где уровень атмосферных осадков крайне невелик. В Барнуэлле система захоронения состоит из рвов, дно которых обладает небольшим уклоном и присыпано песком, чтобы облегчить сток просочившейся воды в дренажную канавку. Канавка оканчивается накопительным отстойником, за которым ведется постоянный контроль. Специальные ящики, металлические бочки или иные контейнеры с радиоактивными отходами помещаются на дно рва и устанавливаются друг на друга. Отходы с более высоким уровнем радиоактивности заливаются бетоном, битумом или другими материалами с низким уровнем выщелачивания либо надежно изолируются в контейнерах для обеспечения структурной стабильности содержимого. Пространство между контейнерами заполняется сухой землей, поверх которой накатывается слой глины и производится грунтовая засыпка. В Ваальпутсе длинные и широкие рвы — их глубина составляет почти восемь метров — покрываются несколькими слоями уплотненной глины, песком, а затем местной растительностью.

Инженерные приповерхностные хранилища (ИППХ). Примером такого типа сооружения может служить хранилище в Дригге (Соединенное Королевство), где на смену простым рвам пришла система инженерно оборудованных камер. Хранилище устроено таким образом, чтобы с помощью вилочного погрузчика туда можно было поместить стальные контейнеры с уплотненными радиоактивными отходами. Камеры, размещенные на уровне земли или ниже, состоят из бетонных стен и такого же основания с расположенным под ним дренажным слоем. Любые стоки, образующиеся как внутри бункера, так и под ним, могут отдельно контролироваться, направляться к имеющемуся на площадке водоочистному сооруже-

нию, а затем по сточной трубе сбрасываться в море.

Боксовое расположение бетонных камер используется в таких хранилищах, как Сантр-де-Ла-Манш и Л'Об (Франция), Эль-Кабриль (Испания), Тромбей (Индия) и Роккасё (Япония). У каждого из этих хранилищ есть свои конструктивные особенности. В Сантр-де-Ла-Манш цилиндрические контейнеры с более активными короткоживущими ОНСУР замонтированы в бетонных стенах у основания бункера, а цилиндры с низкоактивными отходами штабелированы сверху и затем заизолированы. При строительстве второго хранилища в Л'Об приобретенный опыт был учтен и усовершенствован. Здесь все отходы изолируются в железобетонных бункерах (площадь 30 × 30 м, высотой 8,5 м при толщине стен 30 см). Бункеры построены выше самой верхней отметки уровня подземных вод и сконструированы таким образом, чтобы исключить просачивание дождевой воды. В хранилище Л'Об также разработана дистанционная система управления для перемещения и установки контейнеров, существенно снижающая дозу облучения персонала. Основываясь на приобретенном ранее опыте, была создана высокоавтоматизированная система регистрации и управления.

Хранилище Эль-Кабриль в Испании построено на аналогичных принципах захоронения радиоактивных отходов, но предусматривает потенциальную возможность извлечения контейнеров с отходами; кроме того, в нем можно производить кондиционирование отходов и снятие их характеристик. В Индии, где действуют шесть хранилищ ОНСУР, характерной чертой их конструкции является использование железобетонных рвов и облицованных плиткой вертикальных колодцев для отходов различного типа. В Тромбее железобетонные траншеи сделаны водонепроницаемыми и имеют сверху железобетонное покрытие; кроме того, для предотвращения ингрессии дождевой воды в период муссонов там используются водоотталкивающие материалы. Облицованные плиткой круглые колодцы глубиной порядка четырех метров сконструированы таким образом, чтобы в них можно было разместить отходы с уровнем радиоактивности выше допустимого для рвов из железобетона и складировать альфа-радиоактивные отходы.

В странах бывшего Советского Союза хранилища для ОНСУР были построены, как правило, в 60—70-х гг. и использовались для отходов, содержащих различные радионуклиды. Хранилища аналогичного типа построены и в странах Восточной Европы. Стандартные технические условия проекта требуют, чтобы они были расположены, по крайней мере, на четыре метра выше горизонта грунтовых вод. В хранилище в Сергиевом Посаде (Россия) бетонные бункеры построены чуть ниже уровня поверхности земли. Стены в них сделаны из двойного слоя бетона с битумной заливкой, а контейнеры с радиоактивными отходами помещены в отдельные камеры, которые залиты строительным раствором с включением не только цемента, но и жидких низкоактивных отходов. Когда камера заполняется, радиоактивные отходы при-

крываются слоем бетона, а также плитой из железобетона, двумя слоями битума и глиняным покрытием.

В Японии, на площадке Роккасё-мура, используются бетонные колодцы, между которыми проходит дренажная система в качестве инженерного ограждения, поскольку хранилище расположено ниже уровня грунтовых вод. Каждый колодец может вместить в себя приблизительно 5 тыс. цилиндров с отходами. После заполнения колодцев они забутовываются и покрываются грунтовой засыпкой толщиной не менее четырех метров.

В Канаде инженеры спроектировали так называемое противоиintrузионное подземное сооружение. Его характерной особенностью является наличие бетонного модуля с толстой бетонной крышкой и водонепроницаемым днищем, которое сооружается в песчаном горизонте выше уровня подземных вод. Днище сконструировано водонепроницаемым, чтобы свести к минимуму контакт воды с радиоактивными отходами. Поскольку очень долгоживущие радионуклиды содержатся в отходах в малых концентрациях, инженеры предусмотрели возможность просачивания воды в конструкцию по мере разрушения бетона со временем: вода сливается в водосток через двуслойный пол конструкции, который сделан из смеси песка и глины и природного цеолита. Их поглощающие свойства ограничивают выделение радионуклидов вместе со стекающей водой.

Пустоты горных выработок (ПГВ). Создание хранилищ в пустотах горных выработок распространено, например, в Чешской Республике, Швеции, Финляндии и Норвегии. В Чешской Республике часть геологических пустот на руднике Рихарда II, расположенных на глубине от 70 до 80 м, используется в качестве хранилища для радиоактивных отходов (большой частью короткоживущих радионуклидов), поступающих преимущественно из медицинских учреждений. В настоящее время шахта и ее штреки сухие, а их геологическая порода состоит из мергелистого известняка и мергеля (известковой глины). Хранилище для окончательного захоронения радиоактивных отходов в Швеции построено в скальной породе на глубине около 60 м под дном моря, причем вход и выход расположены на суше. Расположение камер в скальной породе сделано с учетом хранения в них короткоживущих ОНСУР различного типа, разной радиоактивности, разного состава, а также с учетом разных требований обращения с ними. Каверны в виде шахт глубиной 50 м с бетонными стенами, буферным слоем из бентонитовой глины и системой удаления газа вмещают контейнеры с отходами, имеющими чрезвычайно высокий уровень радиоактивности. Хранилище Олкилутто, Финляндия, аналогично шведскому, но в нем имеется всего лишь две шахты (одна — для низкоактивных отходов, а другая — для отходов, имеющих средний уровень радиоактивности и генерирующих тепло), которые сооружены на глубине от 60 до 100 м под землей. В качестве закладочного материала используется мелкодробленая вынутая горная порода, а основные зоны разлома, содержащие воду, будут закрыты бетонными заглушками.

Геологические хранилища (ГХ). Хранилища Морслебен и Конрад (Германия), а также планируемое хранилище NIREX (Соединенное Королевство) представляют собой примеры хранилищ для ОНСУР, размещенных в геологических структурах. Хранилище Морслебен расположено в очень сухих соляных коях со стабильными условиями на глубине порядка 500 м и вмещает 40 тыс. м³ радиоактивного материала. Отходы со средним уровнем радиоактивности захоронены в большой каверне, которая затем экранируется слоями закладочного материала. Отходы с низким уровнем радиоактивности штабелируются в копаных камерах. Хранилище Конрад представляет собой чрезвычайно сухой бывший железный рудник, который легко поддается разработке, имеет стабильные условия, заключен между другими пластами породы и покрыт слоем глины толщиной около 400 м. В соответствии с проведенными оценками безопасности время, необходимое для того, чтобы вода просочилась из хранилища на поверхность, составляет 380 тыс. лет. Горизонтальные туннели — штреки — для хранения не выделяющих тепла радиоактивных отходов будут сооружены на глубине примерно 800 м, а для транспортировки будут использоваться два шахтных ствола и сами штреки.

Предоставление лицензий. Процесс предоставления лицензии в разных странах различен, поскольку в них действуют разные регулирующие структуры и требования. Например, в Германии — это единый процесс лицензирования, который охватывает строительство, эксплуатацию и закрытие хранилища, в то время как в других странах для этого необходимо пройти несколько этапов. Как правило, заявка на предоставление лицензии основана на конструкции хранилища применительно к конкретной площадке, а также на оценках безопасности, которые должны продемонстрировать соответствие предлагаемого сооружения нормативным требованиям. Процесс предоставления лицензии обычно включает сложные юридические и политические формальности, тщательные технические проверки, проводимые регулирующим органом, и взаимодействие с общественностью.

В Швейцарии в июне 1993 г. после длительных исследований площадка Велленберг в кантоне Нидвальден была объявлена подходящим местом для захоронения ОНСУР. Процедура лицензирования в этой стране включает получение федеральной, кантонной и общинной лицензий сначала на строительство, а затем и на эксплуатацию хранилища. Кроме того, соответствующий кантон должен предоставить специальную концессию на производство горных работ. Генеральная лицензия была представлена правительству Швейцарской конфедерации в июне 1994 г., решение которого подлежит ратификации парламентом страны. Тем временем в 1994 г. община Вольфензехиссен и собрание ее жителей проголосовали в пользу проекта. Однако при голосовании по вопросу о предоставлении концессии на производство горных работ, проведенном в кантоне в 1995 г., значительным большинством голосов проект был отклонен.

В Германии на шахте Конрад, земля Нижняя Саксония, с 1976 по 1982 г. проводились исследо-

вания с целью определить ее пригодность в качестве хранилища радиоактивных отходов. Когда исследования завершились, была подана заявка на предоставление лицензии с целью начала работ по сооружению хранилища. И хотя на федеральном уровне все препятствия были преодолены, местный орган самоуправления не вынес решения о предоставлении лицензии. В США четыре штата (Калифорния, Небраска, Северная Каролина и Техас) подали заявки на предоставление лицензии в конце 1989 г., в июле 1990 г., декабре 1993 г. и марте 1992 г., соответственно. На данный момент только штат Калифорния получил лицензию, выданную калифорнийским Департаментом здравоохранения 16 сентября 1993 г., обусловленную предоставлением Департаменту здравоохранения штата права собственности на участок земли, на котором должно быть построено хранилище. 1 июня 1994 г. Верховный суд штата Калифорния вынес постановление, в котором предписал Департаменту здравоохранения пересмотреть свое решение о предоставлении лицензии, а тот в ответ подал апелляционную жалобу. В штате Небраска Экологическое управление США, которое ответственно за выбор участка, представило 15 июня 1995 г. восьмую, и последнюю, редакцию отчета по анализу безопасности плюс различные другие документы, относящиеся к заявке на лицензию. В штате Северная Каролина по политическим причинам заявка будет одобрена Отделом радиационной защиты Департамента окружающей среды, здравоохранения и ресурсов штата не ранее февраля 2000 г.

Закрытие. После того как сооружение заполнено или захоронение отходов по другим причинам прекращается, начинается процесс, известный как “закрытие” и “хранение”. Процесс закрытия включает меры, направленные на обеспечение безопасности сооружения, такие как покрытие площадки и ее локализация, составление документации и проведение оценок безопасности. Во многих странах предусматривается, что осуществление официального контроля после закрытия хранилища, т. е. в период хранения отходов, будет вестись в течение нескольких сотен лет. Он может включать контроль за доступом к хранилищу, техническое обслуживание, мониторинг площадки, регистрацию информации и, в случае необходимости, осуществление корректирующих действий.

Хранилище Сантр-де-Ла-Манш во Франции получило последний контейнер с радиоактивными отходами в июне 1994 г., и теперь его готовят к закрытию. Оператор данного сооружения, Французское национальное агентство по ликвидации радиоактивных отходов (АНДРА), обратился с заявкой на предоставление лицензии, относящейся к стадии официального контроля. После получения лицензии площадка будет продолжать находиться в ведении АНДРА. Предполагается, что лицензия будет получена в 1997 г. после проведения вторых публичных слушаний по выработке основополагающих принципов, которым надлежит следовать при осуществлении официального контроля, в том числе путем активных периодических обследований и пассивного наблюдения.

Новые проблемы и задачи

Возник целый ряд вопросов, которые привлекают к себе пристальное внимание на национальном и всемирном уровнях. Они включают следующее:

Природные радиоактивные вещества (ПРВ). Окружающая нас среда земли содержит природные радионуклиды, включая калий-40 и углерод-14, и тяжелые радиоактивные элементы распада урана и тория. Они могут содержаться в шламах и отходах, которые образуются в результате добычи полезных ископаемых и их переработки (например, горные работы или добыча нефти и газа). Сжигание угля также приводит к концентрации радионуклидов в золах и к частичному высвобождению радиоактивности в атмосферу. Радиологическая опасность, обусловленная наличием в отходах ПРВ, вызвана главным образом радием и его производными. Связанные с ними дозы ионизирующего излучения могут быть весьма значительными и даже нередко превышать те, которые установлены радиологическими нормами при работе с радиоактивными веществами.

Обеспокоенность этим побудила регулирующие органы рассмотреть потенциальную опасность, связанную с захоронением отходов ПРВ. В некоторых странах с отдельными видами этих отходов теперь обращаются как с настоящими радиоактивными отходами, хотя уровень контроля над ними значительно варьируется. Недавно проведенное обследование показало, что концентрация радионуклидов в трубопроводах на нефте- или газоперерабатывающих предприятиях может достигать уровней, при повышении которых захоронение радиоактивных отходов в приповерхностных горизонтах считалось бы неприемлемым. В некоторых странах с отдельными побочными продуктами, образующимися в процессе добычи и переработки нефти или газа, уже обращаются как с низкоактивными радиоактивными отходами, в то время как в других странах они продолжают оставаться вне контроля.

Очень низкоактивные отходы (ОНАО). Отходы этого типа иногда образуются в больших количествах, но их потенциальная опасность невелика. Они создают проблему, потому что держать их в хранилищах, предназначенных для ОНСУР, непрактично, а сбрасывать как промышленные отходы — неприемлемо. В настоящее время не существует международно принятого определения ОНАО, а решение вопроса, в частности, зависит от разработки критериев, которыми следует руководствоваться при регулировании обращения с этими отходами.

В Швеции для захоронения ОНАО используется несколько земляных насыпных сооружений, расположенных на площадках каждой ядерной установки. Такое захоронение может быть осуществлено только в отношении отходов, требующих радиологического контроля в течение менее 100 лет. Во Франции значительная часть ОНАО поступает в хранилище Л'Об, а остальная содержится на площадках. В целом официальные представители промышленных кругов Франции оценивают суммарное количество ОНАО как равное приблизи-

тельно 15 млн. метрических тонн. В последнее время предпринимаются настойчивые усилия с целью найти более удовлетворительное решение проблемы их захоронения. В исследовании, недавно проведенном состоящей из промышленных экспертов рабочей группой, рассмотрены четыре типа сооружений для захоронения ОНАО; три из них представляют собой сооружения курганного типа, а один — подземное сооружение. Эти конструкции находятся сейчас в стадии проверки инстанциями, которые предоставляют лицензии. Японский исследовательский институт атомной энергии начал претворение в жизнь программы, которая призвана продемонстрировать безопасность приповерхностного захоронения ОНАО. В этом демонстрационном проекте для захоронения выбираются в основном такие типы отходов, как крупнодробленные куски бетона, использовавшегося для защиты реактора, и загрязненные конструкции демонстрационного энергетического реактора, в которых содержание радионуклидов на несколько порядков меньше нормы. После получения разрешения на строительство опытного сооружения на реакторной площадке был вырыт котлован, в котором с ноября 1995 г. по март 1996 г. было размещено 1700 т отходов. Затем котлован был засыпан толстым слоем грунта, засеянного травой; площадка будет находиться под контролем около 30 лет.

Отработанные герметизированные источники излучения (ОГИ). В медицине, научных исследованиях, сельском хозяйстве и других областях широко используются источники излучения в герметической оболочке, общее количество которых превышает 500 тыс. После использования (отработки) они требуют осторожного обращения до их безопасного захоронения. Опыт обращения с ними отработан на всех этапах, за исключением захоронения долгоживущих источников. Однако не все страны обладают достаточными средствами для реализации существующих методов.

При условии, что приповерхностное хранилище расположено в надлежащем месте, а также надлежащим образом построено и эксплуатируется, оно может быть безопасно использовано для захоронения большинства отработанных ОГИ, за исключением америция-241 и радия-226, а также объемных источников, применяемых в установках для радиотерапии или облучающих установках. Возможность принять отходы для захоронения в том или ином хранилище зависит от нескольких критериев, которые включают предел концентраций для различных радионуклидов или их групп в контейнере с отходами и интенсивность общей активности.

Во многих странах образуются небольшие — до нескольких м³ в год — объемы радиоактивных отходов, включая отработанные ОГИ. Этим странам было бы выгоднее создавать региональные хранилища для нескольких стран. Другие страны, эксплуатирующие хранилища, сталкиваются с различными проблемами, связанными с ОГИ. Например, в России долгоживущие ОГИ (в частности, радиевые источники) ждут захоронения в геологических структурах, а другие типы ОГИ захораниваются в бетонных бункерах или неглубо-

Страна	Хранилище (открытие/закрытие)	Тип	Страна	Хранилище (открытие/закрытие)	Тип
Узбекистан	Ташкент (60-е)	ИППХ	Венгрия	Солимар (1960—1976) ³	ИППХ
Вьетнам	Далат (1986-)	ИППХ	Япония	JAERI, Токай (1995—1996)	ПППХ
Этап прекращения эксплуатации или закрытия					
Армения	Ереван	ИППХ	Мексика	Ла-Пьедрера (1983—1984)	ИППХ
Болгария	Нови-Хан (1964—1994)	ИППХ	Норвегия	Кьеллер (1970—1970) ⁴	ИППХ
Эстония	Таммику (бывш. Саку) (1964—1996)	ИППХ	Литва	Майшиогала (70-е—1989)	ИППХ
Франция	Сантр-де-Ла-Манш (1969—1994)	ИППХ	Соединенные Штаты	Битти, Невада (1962—1992)	ИППХ
Германия	Ассе (1967—1978)	ГХ		Мэкси-Флэтс, Кентукки (1963—1978)	ПППХ
Российская Федерация ²	Мурманск	ИППХ		ORNL SWSA-1 (1944—1944) ³	ПППХ
	Грозный, Чечня	ИППХ		ORNL SWSA-2 (1944—1946)	ПППХ
Таджикистан	Бешкек	ИППХ		Шефилд, Иллинойс (1967—1978)	ПППХ
Украина	Киевский центр (-1992)	ИППХ		Уэст-Вэлли, Нью-Йорк (1963—1975)	ПППХ
Хранилище закрыто					
Чешская Республика	Хостим (1953—1965)	ПГВ			

Примечания к таблице

Сокращения: ПППХ — простое приповерхностное хранилище; ПГВ — пустоты горных выработок; ИППХ — инженерное приповерхностное хранилище; ГХ — геологическое хранилище; П/ИППХ = ПППХ и ИППХ — простое приповерхностное хранилище и инженерное приповерхностное хранилище.

¹ Было построено 77 хранилищ для принятия радиоактивных отходов после аварии на Чернобыльской АЭС.

² Хранилища в Российской Федерации начали эксплуатироваться в период с 1961 по 1967 г.

³ Отходы были перемещены в другое хранилище (соответственно, из Солимара в RHFT Пуспоксилась и из ORNL SWSA-1 в ORNL SWSA-2).

⁴ Радиоактивные отходы будут перемещены в новое хранилище (Химдален) по окончании его строительства.

Определение отдельных терминов

Отходы с низким и средним уровнями радиоактивности (ОНСУР) определяются МАГАТЭ как радиоактивные отходы, в которых концентрация или количество радионуклидов выше уровня их выведения, установленного регулирующим органом, но при этом содержание радионуклидов в них и теплотворная способность ниже тех, которые характерны для высокоактивных отходов (т. е. около 2 кВт/м³). ОНСУР часто подразделяются на короткоживущие и долгоживущие. Они образуются в результате эксплуатации атомных электростанций [$\sim 500 \text{ м}^3/\text{ГВт(эл)}/\text{год}$] и других установок топливного цикла [$\sim 90 \text{ м}^3/\text{ГВт(эл)}/\text{год}$, образующихся в результате деятельности предприятий по переработке урана, $\sim 60\,000 \text{ м}^3/\text{ГВт(эл)}/\text{год}$ — от предприятий, занятых добычей и дроблением урановой руды], снятия этих предприятий с эксплуатации (от 5 тыс. до 10 тыс. м³ от одной электростанции мощностью 1 МВт) и применения радиоизотопов. Эти виды отходов требуют надлежащего обращения путем обработки и кондиционирования и, в конечном счете, захоронения.

Захоронение определяется как размещение отходов в санкционированных специальных сооружениях без намерения извлекать их. Оно может включать также санкционированный непосредственный сброс стоков в окружающую среду с последующим их диспергированием (в настоящей статье этот аспект не рассматривается). Кроме того, захоронение отходов путем их удержания и изоляции включает такие методы, как захоронение на суше, сброс в море (который практиковался некоторыми странами, до того как был запрещен Лондонской конвенцией), и др. (В настоящей статье упор сделан на методе захоронения на суше, который в настоящее время является преобладающим в практике захоронения радиоактивных отходов.) В данном контексте целью захоронения является обеспечение достаточной изоляции отходов, чтобы защитить людей и окружающую среду и не возлагать чрезмерное бремя на будущие поколения. Это может быть выполнено с помощью применения к системам захоронения радиоактивных отходов многочисленных защитных мер с учетом взаимозависимости элементов, входящих в систему (т. е. применяя системный подход). Защитные меры требуют применения нескольких уровней защиты и многочисленных средств изоляции, чтобы изолировать отходы, ограничить выбросы радиоактивных материалов и гарантировать, что вероятность отказов или их комбинации, которая могла бы привести к существенным радиологическим последствиям, будет очень мала.

Приповерхностное хранилище — ядерный объект, предназначенный для захоронения отходов и расположенный на поверхности земли или на глубине в пределах нескольких десятков метров. Сооружения данного типа включают рвы и инженерные бункеры.

Пустоты горных выработок — приповерхностные сооружения, построенные внутри шахт или каверн, т. е. карстовых пустот.

Геологическое хранилище — ядерный объект, предназначенный для захоронения отходов и расположенный под землей (обычно на глубине, превышающей несколько сотен метров) в стабильной геологической формации, чтобы обеспечить долговременную изоляцию радионуклидов от биосферы.

ких земляных скважинах. Концепция захоронения отходов в скважинах, которая была разработана в конце 50 — начале 60-х гг. в бывшем СССР, заключается в сбрасывании ОГИ по винтовому каналу для загрузки в контейнер глубиной 5 м, сделанный из нержавеющей стали и помещенный в облицованную бетоном скважину. Начиная с 1986 г., по причинам безопасности, в свободное пространство внутри контейнера начали закладывать металлический наполнитель или полимерные композитные материалы — в зависимости от уровня радиоактивности и периода полураспада радиоактивных материалов, содержащихся в ОГИ. С 1995 г. скважины находятся под непрерывным контролем, для того чтобы можно было оценить их состояние. В США ОГИ классифицируются по различным группам, и не все из них приемлемы для приповерхностного захоронения. Следовательно, на стадии рассмотрения находятся более консервативные варианты захоронения, такие как геологические хранилища или глубокие скважины. Независимо от используемой технологии, объем ОГИ для данного типа захоронения может быть недостаточно большим, чтобы оправдать экономические затраты или организационные усилия, связанные с развертыванием такого отдельного сооружения.

Совершенствование существующих сооружений. Некоторые страны, имеющие сооружения для захоронения радиоактивных отходов, в настоящее время принимают меры по совершенствованию их эксплуатации или устранению недостатков с целью повышения защитных свойств или приведения их характеристик в соответствие с новыми нормативными требованиями. Устранение недостатков системы может включать извлечение отходов, связывание и нейтрализацию отходов на месте, их дезактивацию на месте и сдерживание их распространения с помощью сооружения в местах их захоронения таких устройств, как заглушки, изоляционные стены или настилы. В ряде стран, в том числе в Германии, Индии, Болгарии и в других странах Восточной Европы, были или будут предприняты мероприятия по оценке степени безопасности как часть всеобъемлющей проверки характеристик и функционирования существующих хранилищ.

Например, в хранилище Морслебен в Германии была проведена оценка степени безопасности, в результате чего были приняты новые технические требования к приемке отходов и новые методики обеспечения качества. В Венгрии в отношении хранилища Пуспоксиладь, которое осуществляло приемку некоторых видов предварительно не обработанных отходов вместе с контейнеризованными, был принят руководящий принцип, согласно которому начиная с 1997 г. будут приниматься только отходы, помещенные в 200-литровые стальные цилиндрические контейнеры. В Соединенном Королевстве в конце 80-х гг. хранилище Дригг было капитально реконструировано и усовершенствовано. Старые необорудованные рвы были оставлены закрытыми, а для контейнеров с отходами был построен новый бетонный бункер. Были также возведены изоляционные стены, чтобы ограничить поступление воды в существующие рвы с захороненными отходами и выход из

них. В Норвегии план усовершенствования старого приповерхностного хранилища долгоживущих радиоактивных отходов предусматривает выемку всех контейнеров и складирование их во временном наземном хранилище. Затем они будут перемещены в скальную каверну для хранения и захоронения, которую предполагается оборудовать в Химдалене.

Долговременное хранение. Некоторые страны начинают использовать метод долговременного хранения — но не захоронения — радиоактивных отходов. Он предусматривает отсрочку в принятии решения об окончательном захоронении отходов, с тем чтобы заручиться в этом деле общественной поддержкой. Однако данный подход может потребовать более детального рассмотрения нормативных и технических аспектов.

На запланированной в Норвегии площадке в Химдалене захоронение короткоживущих ОНСУР предусматривается в горизонтальных туннелях, а для хранения содержащих плутоний отходов в течение всего периода эксплуатации хранилища, составляющего приблизительно 30 лет, во время которого хранящиеся отходы не будут извлекаться, предполагается строительство отдельного туннеля. Когда хранилище будет закрыто, то на основе опыта эксплуатации будет принято решение относительно захоронения отходов на площадке. Аналогичный подход наблюдается и в Швейцарии, где население обеспокоено невозможностью извлечения отходов, которые должны быть захоронены в планируемом хранилище в Велленберге. Власти рассматривают возможность сохранения объекта в открытом и контролируемом состоянии в течение жизни двух и более поколений, т. е. до того времени, когда можно будет принять решение о закрытии хранилища.

Затраты на захоронение. По мере того как сооружения для захоронения радиоактивных отходов в техническом плане становились все более совершенными, расходы на захоронение заметно возрастали. В некоторых странах явственно просматривается тенденция свести к минимуму образование радиоактивных отходов, чтобы снизить расходы по их захоронению. Кроме того, как отмечалось выше, для захоронения ОНАО рассматриваются менее дорогостоящие способы решения проблемы.

Недавно в Агентстве по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития была образована рабочая группа по вопросам стоимости захоронения ОНСУР. Группа будет устанавливать расходные компоненты и анализировать факторы, влияющие на стоимость захоронения, а также рассматривать влияние расходов на захоронение на общую цену производства электроэнергии на АЭС.

Проблема общественного мнения. Как отмечалось выше, вопрос поддержки со стороны общественности оказывает сильное воздействие на процесс обращения с радиоактивными отходами и их захоронения. Во многих странах, особенно промышленно развитых, прилагается все больше усилий, чтобы преодолеть резко негативное отношение общественности к этой проблеме. Предусмотрены программы по углублению связи с общественностью и развитию диалога с местными об-

щинами и населением и по более четкой демонстрации приверженности к обеспечению научного совершенства, защите окружающей среды и гарантированию долговременной безопасности при выборе площадок и эксплуатации хранилищ.

В некоторых странах общинам, которые принимают площадки для строительства хранилищ, предлагаются финансовые стимулы. Однако компенсацию не следует рассматривать в качестве вознаграждения за риск, а связанные с безопасностью вопросы должны быть обсуждены и разрешены до начала переговоров о компенсации. Помимо денежных выплат финансовые стимулы могут включать бесплатное электроснабжение и создание новых рабочих мест.

Региональные международные хранилища.

Некоторые страны проявляют заинтересованность в создании регионального международного хранилища радиоактивных отходов, когда площадка в одной стране принимала бы радиоактивные отходы из других стран. Такой подход имеет определенные экономические и технологические преимущества, как и выгоды в плане безопасности, особенно для стран, расположенных в одном географическом регионе. Предпосылкой для претворения в жизнь такого подхода является достижение консенсуса между соответствующими странами и регионами, в особенности в отношении трансграничного перемещения радиоактивных отходов. Недавно МАГАТЭ произвело оценку нескольких главных факторов, связанных с достижением консенсуса среди заинтересованных стран по различным вопросам, возникающим при таком региональном подходе.

В принципе основные вопросы, связанные со строительством и эксплуатацией регионального международного хранилища радиоактивных отходов, ненамного отличаются от тех, которые возникают при реализации национальных проектов. Но здесь имеются некоторые качественные отличия, связанные с характеристиками принимаемых отходов, финансовыми обязательствами стран-партнеров, разделением ответственности, применением любых требуемых гарантий, а также с собственностью на отходы и их перемещением.

Такие региональные хранилища, построенные с учетом оптимального международного опыта обращения с радиоактивными отходами, могли бы дать некоторым странам возможность не начинать строительство своих собственных площадок для захоронения, сокращая тем самым общее количество хранилищ во всем мире. Кроме того, они могли бы дать альтернативу странам с неблагоприятными условиями для размещения своих собственных хранилищ. К числу недостатков такого решения проблемы относится тот факт, что создание регионального хранилища может привести к увеличению объема перевозок. Кроме того, может оказаться затруднительным установить надежную систему, которая смогла бы сохраниться в изменяющихся политических или институциональных условиях и гарантировать долгосрочное сотрудничество всех стран-партнеров. Одной из наиболее трудных задач, связанных с таким подходом, является достижение соглашений, которые гарантировали бы странам-партнерам, что все технические,

политические и финансовые обязательства будут выполнены.

Международное сотрудничество

Захоронение отходов с низким и средним уровнями радиоактивности основывается на хорошо отработанных и успешно зарекомендовавших себя технологиях. Если хранилища надлежащим образом расположены, построены и эксплуатируются, а содержание радионуклидов в отходах контролируется и является ограниченным, то безопасность может быть надежно гарантирована в течение длительного периода времени. Это может быть достигнуто с помощью многочисленных мер защиты, в том числе инженерных и природных средств изоляции, а также оперативного и постоянного контроля.

Страны — члены МАГАТЭ все больше полагаются на применение различных инженерных средств изоляции для обеспечения безопасности и защиты окружающей среды и на завоевание доверия со стороны общественности. Кроме того, упор делается на безопасные и надежные эксплуатационные системы дистанционного перемещения контейнеров, содержащих радиоактивные отходы, укрытия их в хранилищах и слежения за ними. В то же время ведутся поиски приемлемых по средствам решений проблемы безопасного захоронения тех категорий радиоактивных отходов, уровни радиоактивности которых очень низки, а объемы велики. Больше внимание уделяется вопросам, которые связаны с безопасным захоронением отходов, содержащих природные радиоактивные материалы, обращением с отработанными герметизированными источниками излучения — ОГИ — и их захоронением, расходами на захоронение, получением поддержки со стороны общественности, улучшением и совершенствованием существующих площадок для захоронения, безопасным хранением отходов в течение длительного времени и возможным сооружением региональных международных хранилищ.

В общем, в странах, особенно промышленно развитых, происходит медленный прогресс в деле строительства новых хранилищ, включая выбор площадок и получение лицензий. Эти этапы обычно требуют проведения регулируемыми органами обширных технических исследований и проверок, публичных слушаний, сложных регламентационных и юридических процедур.

В развивающихся странах ситуация иная. В большинстве из них не образуется большого количества радиоактивных отходов, однако им требуются техническая помощь и руководство, чтобы создать подходящие инфраструктуру и потенциал для безопасного обращения с радиоактивными отходами и их захоронения. С помощью разнообразных технических и научных программ МАГАТЭ поддерживает совместные проекты и действия, направленные на достижение этих целей. По мере того как по всему миру в эксплуатацию вводится все больше сооружений для захоронения радиоактивных отходов, передача технологии и опыта развивающимся странам будет оставаться жизненно важной задачей, для того чтобы помочь им развить свой собственный потенциал в этой области. □