

Геологическое захоронение радиоактивных отходов в Украине: история, современное состояние, перспективы

Рассматривается вопрос создания в Украине геологического хранилища для захоронения высокоактивных отходов (РАО) и, возможно, отработанного ядерного топлива: государственная политика, организация деятельности и планы по захоронению РАО, результаты выполненных научно-исследовательских работ, включая выбор площадки, разработку концепций геологических хранилищ и оценку безопасности выбранных концепций. Определены основные проблемы и дальнейшие действия по созданию в стране геологического хранилища РАО.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, геологическое хранилище, высокоактивные отходы, концепции захоронения.

В. М. Шестопапов, Ю. О. Шибецкий

Геологічне захоронення радіоактивних відходів в Україні: історія, сучасний стан, перспективи

Розглядається питання створення в Україні геологічного сховища для захоронення високоактивних відходів (РАВ) і, можливо, відпрацьованого ядерного палива: державна політика, організація діяльності та плани у сфері захоронення РАВ, результати виконаних науково-дослідних робіт, спрямованих на створення в Україні геологічного сховища, зокрема щодо вибору майданчика, концепцій геологічних сховищ і оцінки безпеки обраних концепцій. Окреслено основні проблеми та подальші дії зі створення в країні геологічного сховища РАВ.

Ключові слова: радіоактивні відходи, геологічне сховище, високоактивні відходи, концепції захоронення.

© В. М. Шестопапов, Ю. А. Шибецкий, 2017

Украина унаследовала от Советского Союза упрощенный подход к обращению с радиоактивными отходами (РАО), в основе которого лежит обеспечение безопасности путем хранения некондиционированных отходов. Поэтому создание инфраструктуры для захоронения РАО является (и долгое время будет оставаться) важнейшим аспектом обеспечения радиационной безопасности населения страны и создания условий для стойкого развития ядерной энергетики и ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Цель статьи — проанализировать состояние дел в Украине по созданию геологического хранилища (ГХ) для захоронения наиболее опасных потоков РАО: высокоактивных отходов и, возможно, отдельных партий отработанного ядерного топлива.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА И ОСНОВНЫЕ РУКОВОДЯЩИЕ ДОКУМЕНТЫ

Основы государственной политики в сфере обращения с РАО определены в законах Украины [1, 2].

Организация геологического захоронения РАО в Украине должна базироваться на следующих принципах: приоритете защиты жизни и здоровья персонала, населения и окружающей среды от воздействия РАО; разграничении функций государственного контроля и управления; запрете производителям РАО заниматься их захоронением;

реализации государственной политики путем выполнения задач Общегосударственной целевой экологической программы по обращению с РАО [3].

Законом [2] определено, что указанная программа [3] в части создания ГХ должна финансироваться за счет средств Государственного фонда обращения с РАО.

Центральным органом управления в области обращения с РАО на стадии их долговременного хранения и захоронения является Государственное агентство Украины по управлению зоной отчуждения (ГАЗО). Деятельность по выбору площадки, проектированию, строительству, эксплуатации, закрытию и после закрытия ГХ должна осуществляться государственным специализированным предприятием (оператором хранилища), которое имеет лицензию на соответствующий этап жизненного цикла хранилища.

Планы деятельности по созданию в Украине ГХ определены в двух документах: Стратегии обращения с радиоактивными отходами [4] (далее — Стратегия) и Общегосударственной целевой экологической программе по обращению с РАО [3] (далее — Программа).

Стратегия определяет ключевые точки и задачи по созданию в Украине инфраструктуры для захоронения всех потоков радиоактивных потоков с учетом как накопленных, так и тех РАО, которые возникнут в будущем. Согласно Стратегии, геологическое хранилище в Украине должно быть построено к 2048 году (рис. 1).

Программа детализирует работы, предусмотренные в Стратегии на первом этапе, и определяет техническую политику в сфере обращения с РАО на 2008—2017 годы. Ключевая задача Программы на указанный период в части создания ГХ — проведение комплексных поисково-оценочных и разведочных работ на перспективных участках для выбора места размещения хранилища.

Ныне действующая Программа является четвертой по счету программой по обращению с РАО в Украине.

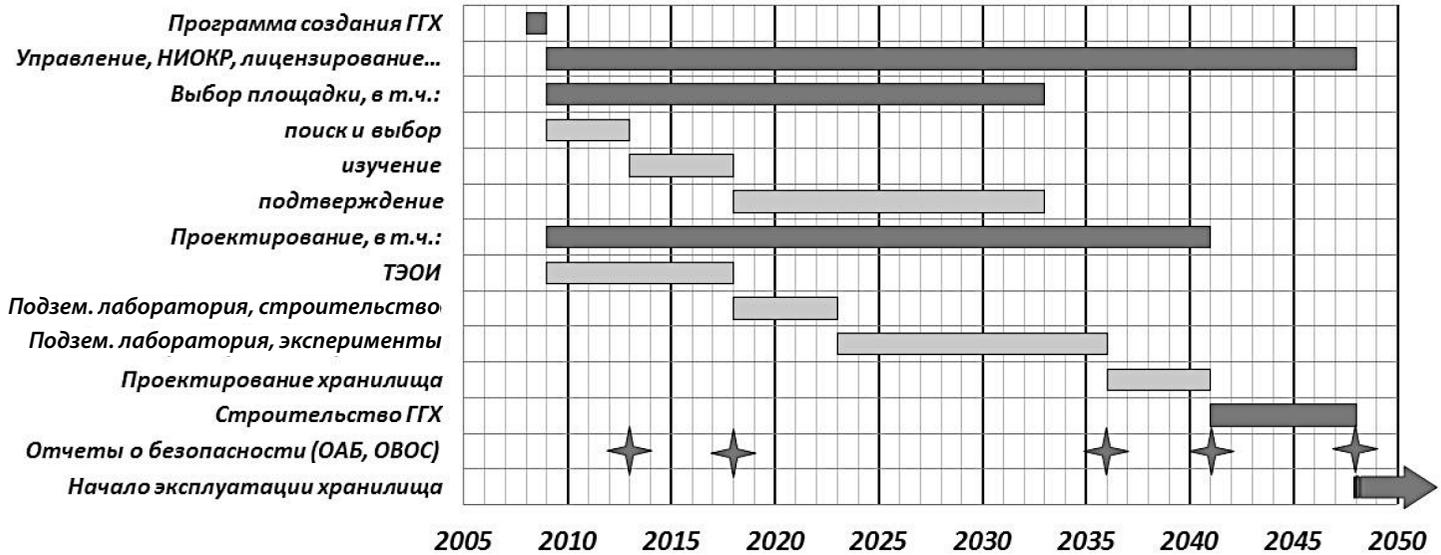


Рис. 1. Предварительный график создания в Украине геологического хранилища РАО

Вторая (1999) и третья программы (2002) содержали прямые указания по выбору площадки для размещения ГХ на территории Чернобыльской зоны отчуждения (далее — ЧЗО). В настоящее время начата подготовка следующей программы на 2020—2030 годы.

ОТХОДЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ЗАХОРОНЕНИЮ В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ХРАНИЛИЩЕ

Захоронение в геологических хранилищах позволяет обеспечить максимальную степень защиты населения и окружающей среды от радиационного воздействия радиоактивных отходов на протяжении всего срока опасности последних. Поэтому в геологических хранилищах планируется захоранивать, прежде всего, наиболее опасные РАО: высокоактивные и долгоживущие отходы, а также отработанное ядерное топливо (если оно декларируется как отходы).

В настоящее время весьма сложно точно определить количество отходов, которые необходимо будет захоранивать в ГХ. Это связано с рядом следующих неопределенностей.

В Украине идет процесс внедрения новой схемы классификации РАО по критерию их возможного захоронения (рис. 2). Предполагается, что вместо типа долгосуществующих РАО, который по действующей классификации должен захораниваться в ГХ, будут введены два класса: средне- (САО) и высокоактивные (ВАО) отходы. Граница между классами (например, по удельной активности) определится позже, в процессе разработки критериев приемки отходов для указанных хранилищ. Пока еще неясно, какая часть из отходов чернобыльского происхождения будет классифицирована как САО и ВАО. Можно лишь предположить, что нынешние долгосуществующие низко- и среднеактивные отходы (НАО и САО), а также низкотемпературные ВАО (согласно [5]) будут отнесены к классу САО, а тепловыделяющие ВАО (с тепловыделением $2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-3}$ [5]) — к классу ВАО.

Всего на действующих реакторах ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, с учетом продления проектного срока их эксплуатации

на 20 лет, может быть наработано до 17 500 т отработанного ядерного топлива (далее — ОЯТ). Приблизительно 2500 т ОЯТ образовалось при эксплуатации реакторов РБМК-1000. В настоящее время ОЯТ реакторов ВВЭР-440 и, частично, ВВЭР-1000 вывозится в Российскую Федерацию для последующей переработки. Предполагается, что продукты переработки ОЯТ будут возвращены в Украину для захоронения [7]. Окончательных оценок объема и радиологических свойств возвращаемых РАО еще нет. Фактически в отношении части оставшегося в стране топлива принято «отложенное» решение: лишь после 50 (и более) лет хранения ОЯТ будет рассматриваться вопрос о его переработке или прямом захоронении.

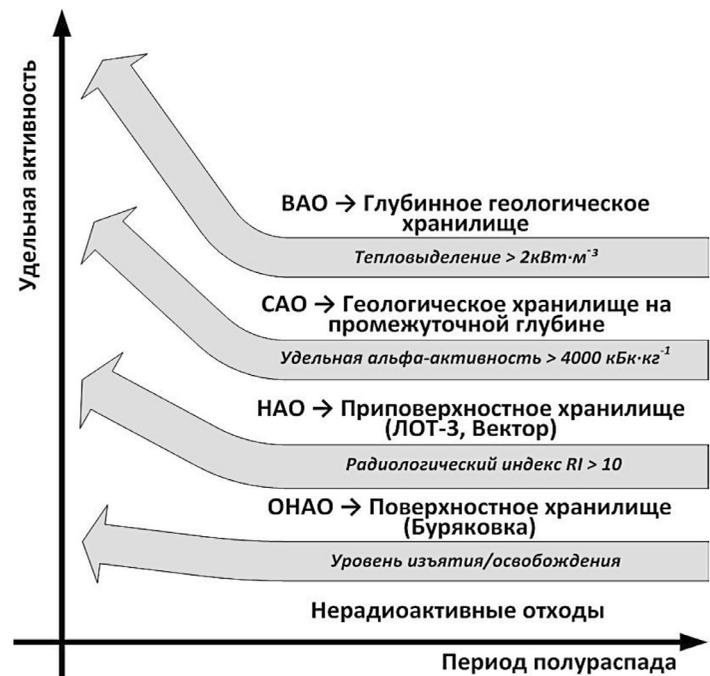


Рис. 2. Новая схема классификации РАО по критерию возможности их захоронения (детально см. [6])

В настоящее время сложно спрогнозировать и реальные темпы развития ядерной энергетики. По разным сценариям к 2030 году в Украине планируется построить несколько реакторов суммарной мощностью от 2 до 7 ГВт.

Принимая во внимание эти соображения, а также оценки, выполненные в рамках проектов TACIS U4.03/04 [8] и INSC U.04.01/08-C [9, 10], количество некондиционированных РАО для захоронения в ГХ составит около 60 000 м³ (включая остеклованные ВАО от переработки ОЯТ). Скорее всего, геологическому захоронению будет подлежать и топливо реакторов РБМК-1000. Возможно также, что какая-то часть топлива реакторов ВВЭР-1000 будет объявлена отходами.

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Украине научно-исследовательские работы по созданию ГХ выполняются с 1993 года институтами НАНУ, университетами, предприятиями ГАЗО и государственной геологической службы, международными организациями и консорциумами. Эти работы вначале финансировались из государственного бюджета Украины, благодаря программам технической помощи Европейской Комиссии и МАГАТЭ, а также предоставлению грантов международными организациями, прежде всего — Научно-технологическому центру Украины (НТЦУ). В последние годы основным источником финансирования НИР является международная техническая помощь. Финансирование работ из государственного бюджета сокращается, а финансирование из Фонда по обращению с РАО мероприятий Программы (связанных с созданием ГХ) отсутствует.

Выполненные НИР могут быть сгруппированы по следующим направлениям:

- разработка нормативных и программных документов;
- оценка пригодности геологических формаций Украины, ее регионов и некоторых участков для создания ГХ;
- предпроектные исследования концепций ГХ;

освоение методологии и программных средств для анализа безопасности ГХ.

В основном тематика НИР сосредотачивалась на выборе площадки для размещения ГХ и методологических аспектах такого выбора (рис. 3, табл. 1).

Отметим, что выводы о перспективности кристаллических пород ЧЗО сделаны на основании анализа имеющихся фондовых геологических данных, полученных в 1960—1980-х годах. Поэтому кристаллические породы фундамента подлежат детальному изучению геофизическими методами, бурением и т. п. Небольшой объем целевых полевых исследований (магнитометрических, гравиметрических и сейсмических), выполненный на Вереснянской площади (рис. 4) в 2005—2006 годах [11, 12], подтвердил перспективность пород фундамента для создания ГХ.

Существенный прогресс был достигнут в Украине в части освоения современных подходов и программных средств для выполнения оценок безопасности установок для захоронения РАО.

Фактически в последние годы организация, управление и контроль выполнения НИР по захоронению РАО в Украине осуществлялись ГАЗО, хотя более целесообразно передать ответственность за этот вид деятельности будущему оператору установок по захоронению.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАО

Выбор и изучение площадок. В последние десять лет основным объектом изучения оставались перспективные площади, выделенные в предыдущие годы в ЧЗО и на прилегающих территориях (рис. 4).

Информация о региональных геологических и гидрогеологических условиях, строении кристаллического фундамента и осадочного чехла изученной территории обобщена в [11, 12].



Рис. 3. Расположение на территории Украины формаций, структур и объектов, перспективных для геологического захоронения РАО:
 1 — Коростенский плутон (протерозойские гранитоиды);
 2 — Чернобыльская зона отчуждения (архейские и протерозойские кристаллические формации);
 3 — железорудная шахта «Саксагань» (архейские гранитоиды);
 4 — урановые шахты (протерозойские кристаллические формации);
 5 — солянокупольные структуры Днепровско-Донецкой впадины;
 6 — пластовые соли Донецкой складчатой области;
 7 — глинистые формации Причерноморской впадины;
 8 — галогенные и глинистые формации Предкарпатского прогиба

Таблица 1. Перспективные структуры и площади на территории Украины

Обозначение на рис. 3	Описание	Годы выполнения работ	Концепция хранилища	Оценка безопасности (критерии)	Ссылка на источники
<i>В пределах Украинского щита</i>					
1	Отдельные массивы гранитоидов в границах Коростенского плутона (протерозойские гранитоиды)	1993—2000	Шахтная	Нет	[13, 14]
2	Площади ЧЗО, включая Коростенский плутон и склоны щита (протерозойские гранитоиды)	1997—2010	Шахтная и скважинная	Да (концентрация нуклидов)	[11, 12]
	Площади ЧЗО в пределах Коростенского плутона (протерозойские гранитоиды)	2013—2016	Шахтная	Да (дозы)	[15]
3	Железорудная шахта «Саксагань» (архейские гранитоиды)	1996—1998	Шахтная	Да (дозы)	[16]
4	Урановые шахты (протерозойские кристаллические формации)	1997—2003	Шахтная	Нет	[17]
<i>Вне пределов Украинского щита</i>					
5	Днепровско-Донецкая впадина (солянокупольные структуры)	1993—2000	Шахтная	Нет	[13, 14]
6	Складчатая область Донбасса (пермские пластовые соли)	1993—2000	Шахтная	Нет	[13, 14]
7	Причерноморская впадина (палеогеновые и неогеновые глины)	1993—1996	Нет	Нет	[13]
8	Предкарпатская впадина (калийные соли и неогеновые глины)	1993—1996	Нет	Нет	

В кристаллическом фундаменте территории исследования выделяются три основные разломные зоны: докембрийская Тетеревская зона северо-восточного простирания, фанерозойская Киевская зона северо-западного простирания

и параллельная ей фанерозойская зона Южного прибортового разлома.

Фундамент западной части ЧЗО образует Коростенский плутон, сложенный преимущественно рапакиви

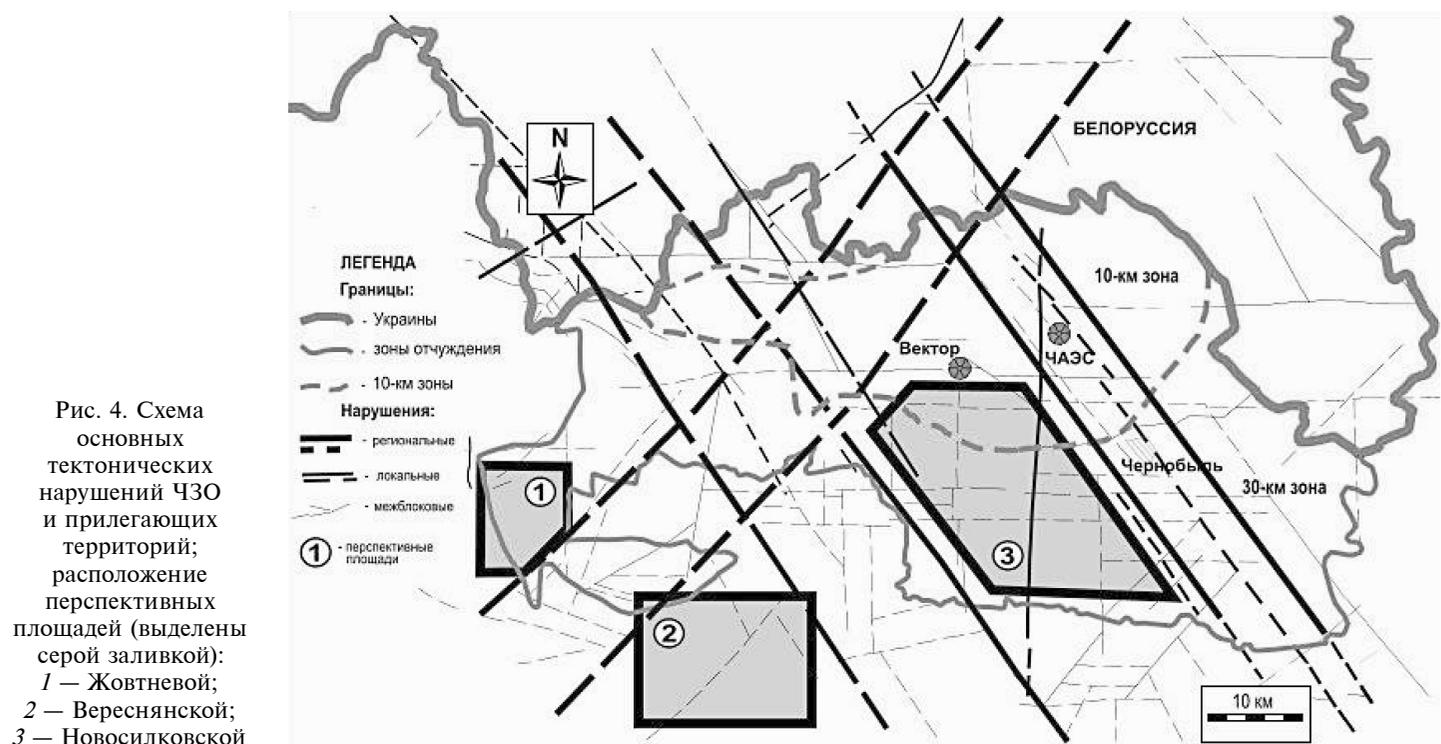


Таблица 2. Некоторые характеристики перспективных площадей

Название перспективной площади	Размер, км ²	Масштаб исследования	Породы	Мощность осадков, м
Жовтнева	80	Магнитная и гравиметрическая съемки масштаба 1:10 000—1:25 000. Более 10 скважин, достигших фундамента. Геологическая съемка масштаба 1:50 000	Гранитоиды Коростенского комплекса	50—100
Вереснянская	210	Магнитная и гравиметрическая съемки масштаба 1:25 000 — 1:50 000. 2 сейсмических профиля. Несколько скважин, достигших фундамента. Геологическая съемка масштаба 1:200 000	Гранитоиды Коростенского комплекса	160—200
Новосилковская	400	Магнитная и гравиметрическая съемки масштаба 1:50 000 — 1:200 000. Геологическая съемка масштаба 1:200 000	Гранитоиды Житомирского комплекса	350—500

и рапакивиподобными гранитоидами Коростенского комплекса. Восточная часть кристаллического фундамента образована раннепротерозойскими метаморфическими породами (Тетеревской и, возможно, Бугской серий). Эти породы прорываются гранитоидами Житомирского и Осницкого комплексов, которые являются вмещающими для Коростенского комплекса. Возраст Житомирского комплекса — 2020...2080 млн лет, Осницкого — 1980...2010 млн лет, Коростенского — 1760...1600 млн лет.

Породы фундамента перекрыты осадочными образованиями палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов. Их мощность возрастает с запада на восток и составляет от нескольких десятков (у западной границы ЧЗО) до 450 и более метров (в окрестностях ЧАЭС). Около 40—50 % мощности осадочного разреза составляют глинистые формации, однако мощность отдельных горизонтов глин (с прослойками песков и песчаников) не превышает 30—40 м.

В разрезе осадочного чехла ЧЗО выделяются несколько водоносных горизонтов. Они объединены в водоносные комплексы: четвертичный, эоценовый, сеноманский и келловейский. Минерализация вод изменяется от 0,2 до 1 г·дм⁻³. Комплексы разделены слабопроницаемыми слоями.

Перспективные площади для размещения геологического хранилища (рис. 4, табл. 2) выбраны согласно критериям:

- на водоразделах и вне долин рек;
- вне основных разломных зон и узлов их пересечения;
- на участках с минимальной плотностью тектонических линеаментов;
- на участках развития малоградиентных геофизических полей.

По своим геологическим и поверхностным условиям украинские площади схожи со скандинавскими (Олкилусто, Форшмарк) по возрасту кристаллических пород, их составу, фильтрационным свойствам и некоторым характеристикам экосистем. Их различия определяются климатическими характеристиками, наличием на украинских площадях осадочного чехла; историей воды в водоносных горизонтах; степенью проявления ледниковой деятельности.

Выбор концепции хранилища. Еще до разработки предложений по новой схеме классификации РАО в Украине рассматривались две концепции конструкции хранилища

для геологического захоронения радиоактивных отходов: шахтная и скважинная. Результаты их сопоставления приведены в [12].

Шахтная концепция предполагает захоронение высокоактивных и среднеактивных РАО (по новой классификации) и, возможно, ОЯТ в специальных горных выработках на глубине более 300 м. Важную роль в обеспечении безопасности наряду с геологической средой играют инженерные барьеры (надежные контейнеры из инертного металла, бентонитовый буфер и засыпка выработок). Отходы размещаются на глубине, где наблюдается интенсивный водообмен, а миграция нуклидов контролируется процессами адвекции и сорбции.

Скважинная концепция предполагает размещение ВАО в скважинах большого диаметра, на глубинах 2—5 км. Основной вклад в безопасность дают барьерные функции геологической среды. На таких глубинах располагается зона затрудненного водообмена, где основным процессом миграции радионуклидов является диффузия. Поэтому при скважинном захоронении нет необходимости в мощной системе инженерных барьеров.

Скважинная концепция ГХ характеризуется рядом преимуществ (рис. 5): более низкими капитальными затратами на сооружение хранилища, меньшим временем строительства, меньшими рисками непреднамеренного вмешательства и т. п. Однако особенности скважинной концепции (ограниченный диаметр контейнера) не позволяют экономически эффективно захоранивать все имеющиеся в Украине потоки среднеактивных РАО. Это касается, прежде всего, отходов объекта «Укрытие» и ЧЗО.

Внедрение новой классификации, расположение хранилищ для захоронения очень низкоактивных и низкоактивных отходов чернобыльского происхождения в ЧЗО, а также использование двух типов ГХ — скважинного и шахтного (рис. 6) — может дать существенную экономию расходов на захоронение РАО: совокупные расходы могут быть сокращены в 10 и более раз [10]. Это весомый аргумент для оценки целесообразности использования в Украине двух типов ГХ.

В рамках выполнения проекта U.04.01/09-B [15] рассматривались две концепции геологического хранилища шахтного типа: глубинного хранилища для захоронения

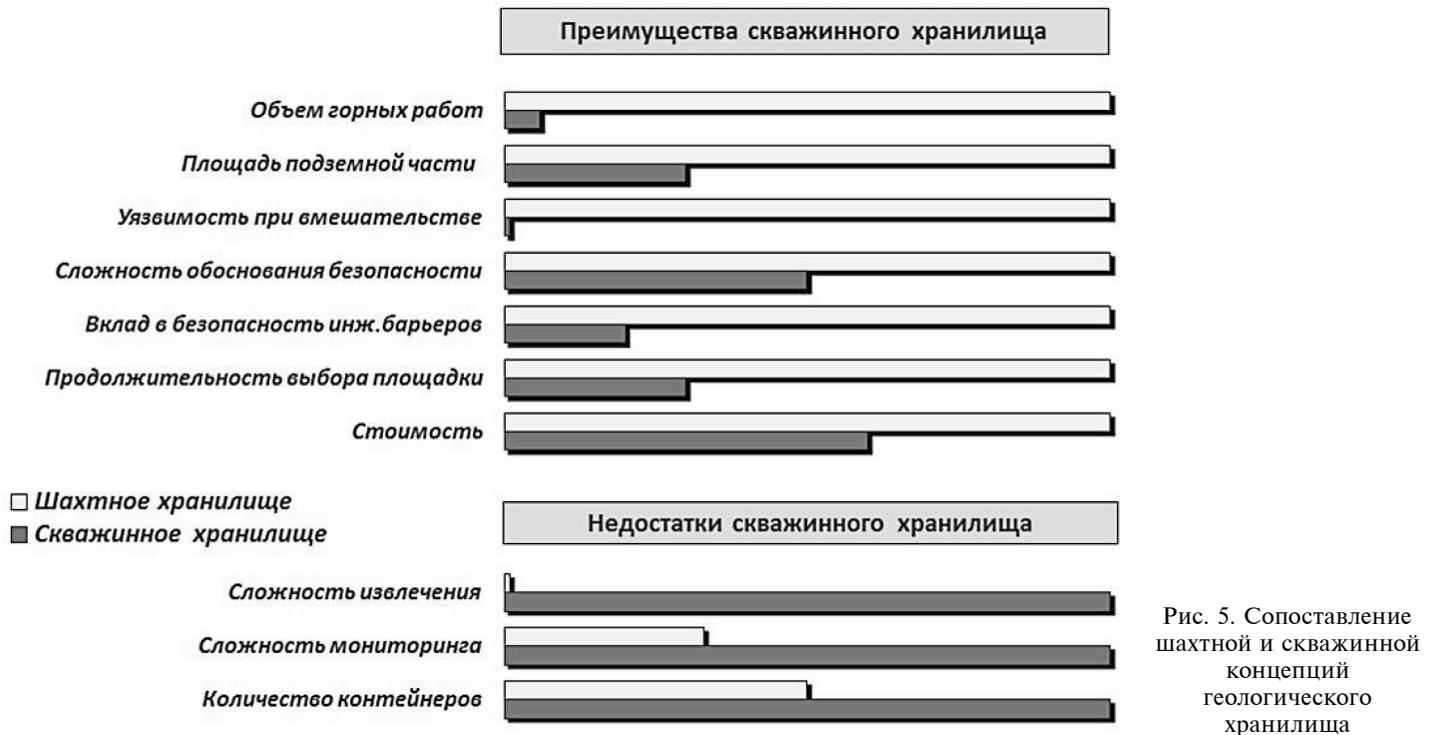


Рис. 5. Сопоставление шахтной и скважинной концепций геологического хранилища

ВАО (и, возможно, ОЯТ) и хранилища на промежуточной глубине для захоронения САО. Особенности концепции глубинного хранилища описаны выше. Хранилище на промежуточной глубине предназначено для захоронения отходов в бетонных контейнерах, которые размещаются в горных выработках, пройденных в кристаллических породах на глубинах в несколько сотен метров [15]. Для указанных концепций выполнены предварительные оценки безопасности с учетом особенностей украинских РАО и для геологических условий ЧЗО.

Предварительная оценка безопасности. Оценка безопасности для геологического захоронения РАО в кристаллических породах ЧЗО выполнялась дважды: первый раз — в рамках проектов НТЦУ 1396, НТЦУ 3187, UKR 13374 на основе моделирования миграции радионуклидов [11, 12]; второй раз — в рамках проекта U.04.01/09-B на основании определения доз облучения [15].

Оценки безопасности на основе моделирования миграции радионуклидов выполнялись для шахтного типа

хранилища. Изучались интенсивность и скорость миграции нуклидов из ГХ к вероятным зонам разгрузки подземных вод (колодец, река). Предполагалось, что хранилище будет построено на глубине 800 м в геологических условиях наиболее изученной Вереснянской площади [11, 12]. Сценарий выхода радионуклидов исходит из наличия одного дефектного контейнера, который служит источником загрязнения подземных вод. Расчетная модель разработана с использованием трехмерной системы моделирования потоков подземных вод Processing Modflow [18].

Результаты моделирования показали следующее:

концентрации радионуклидов в предполагаемых зонах разгрузки снижаются в 10^6 – 10^8 раз по сравнению с концентрациями на выходе из ГХ;

время достижения зон разгрузки радионуклидами изменяется от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов лет;

значительный разброс вычисленных концентраций радионуклидов (три-четыре порядка) и времени их

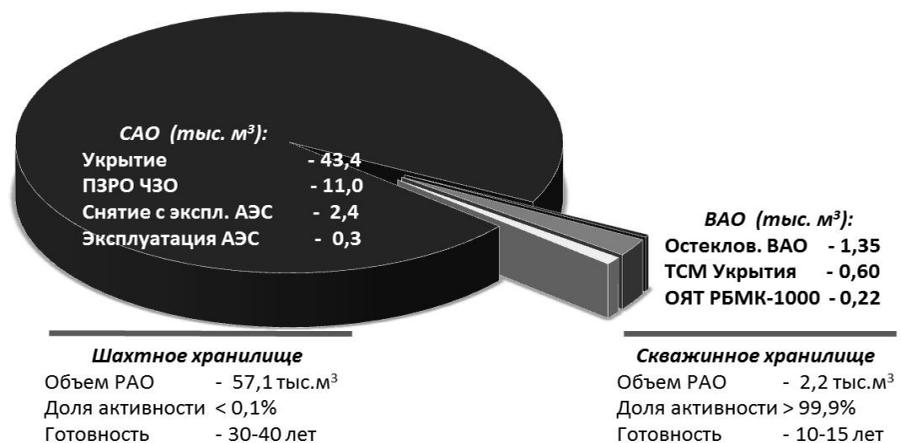


Рис. 6. Экономически целесообразное распределение потоков САО и ВАО Украины по двум типам геологических хранилищ

миграции (один-два порядка) является результатом как неопределенностей модельных предположений (начало сброса радионуклидов, граничные гидрогеологические условия и др.), так и естественных вариаций ключевых параметров (коэффициентов фильтрации, сорбции, мощности разделяющих слоев и др.).

По результатам, полученным на весьма консервативной основе, сделаны выводы о потенциальной пригодности площадей ЧЗО для геологического захоронения РАО. Однако для выбора конкретных участков под размещение ГХ крайне необходимо провести полевые поисково-разведочные работы на выделенных площадях и выполнить ряд научных исследований по изучению сорбционных свойств пород, детальному моделированию процессов миграции радионуклидов в гидрогеологических условиях этих площадей на основе учета свойств реальных РАО и характеристик инженерных барьеров хранилища.

Оценки безопасности на основе расчета доз выполнены для таких же, как и в предыдущем случае, концепции хранилища, сценария выхода радионуклидов и концептуальной модели потоков подземных вод [15]. С использованием программного комплекса ECOLEGO разработана трехкомпонентная модель ГХ, включающая частные модели источника, ближней зоны, дальней зоны и биосферы. Для нескольких сценариев эволюции хранилища (отличающихся интенсивностью потоков подземных вод) рассчитаны значения и время наступления пиковых доз облучения.

Показано, что дозы по базовому варианту сценария на три порядка ниже граничной дозы $10 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, установленной нормативными документами. Для двух дополнительных сценариев, где интенсивность потоков увеличивается соответственно в 10 и 100 раз, дозы возрастают, но не превышают граничного значения. При этом лишь несколько нуклидов имеют значимое влияние: I-129, Cs-136, C-14, Ni-59 и Cs-135.

Кроме того, было показано, что осадочные породы существенно замедляют миграцию нуклидов, поэтому предпочтение следует отдавать участкам, где присутствуют породы с высокой сорбционной емкостью.

В целом предлагаемое ГХ может соответствовать требованиям безопасности при условии выбора соответствующей площадки и глубины размещения РАО. Это еще раз свидетельствует о необходимости проведения комплекса поисково-разведочных работ на перспективных площадях.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ШАГИ

Основные проблемы на пути создания в Украине геологического хранилища — организационно-финансовые и технические.

Организационно-финансовые проблемы включают:

отсутствие финансирования Программы, в том числе мероприятий, направленных на создание ГХ, что во многом предопределено нецелевым использованием Фонда обращения с РАО [19] и противоречит Стратегии и задачам Программы;

незавершенность создания в Украине национальной организации по обращению с РАО, которая отвечала бы за реализацию всех этапов жизненного цикла ГХ (выбор площадки, проектирование, строительство, эксплуатация, закрытие и постэксплуатационный период).

Технические проблемы являются следствием организационно-финансовых проблем:

поисково-разведочные работы до сих пор не начаты; не обеспечиваются координация и преемственность работ, выполненных разными организациями; отсутствует единая сбалансированная программа НИОКР, которая учитывала бы потребности выбора площадки, разработки технологий захоронения и обоснования безопасности;

существуют значительные неопределенности в отношении объемов и важнейших радиологических и физических свойств отходов, подлежащих геологическому захоронению; выбор концепции хранилища, материалов для системы его инженерных барьеров далек от завершения.

Таким образом, несмотря на значительный объем выполненных научно-исследовательских работ, первоочередными задачами по созданию в Украине геологического хранилища РАО все еще остаются:

обеспечение необходимого уровня финансирования; завершение создания национального оператора ГХ; внедрение новой схемы классификации РАО; выполнение Программы.

Выводы

На протяжении последних лет в Украине достигнут определенный прогресс в обосновании возможности создания геологического хранилища РАО: в обобщении существующих данных, уточнении положения перспективных площадей, освоении методологии и средств выполнения оценок безопасности.

Текущая деятельность в области создания геологического хранилища может быть отнесена к стадии выбора площадки и предпроектных исследований концепции ГХ.

Три перспективные площади (Жовтневая, Новосилковская и Вереснянская) для первоочередного проведения работ по выбору площадки под размещение ГХ определены в пределах Чернобыльской зоны отчуждения и прилегающих территорий.

Результаты предварительной оценки безопасности показывают перспективность кристаллических пород юго-западной и южной частей ЧЗО для геологического захоронения радиоактивных отходов, а равно — и острую необходимость проведения детальных полевых исследований перспективных площадей (включая бурение).

Список использованной литературы

1. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон від 08.02.1995 № 39/95-ВР. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 07.03.2017).
2. Про поведження з радіоактивними відходами : Закон від 30.06.1995 № 255/95-ВР. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/255/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 07.03.2017).
3. Про загальнодержавну цільову екологічну програму поведження з радіоактивними відходами : Закон від 17.09.2008 № 516-VI. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/516-17> (дата звернення: 07.03.2017).
4. Про схвалення Стратегії поведження з радіоактивними відходами в Україні і: Розпорядження від 19.08.2009 № 990-р. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/990-2009-%D1%80> (дата звернення: 07.03.2017).
5. Про затвердження державних санітарних правил «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки в Україні» : Наказ від 02.02.2005 № 54. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05> (дата звернення: 07.03.2017).

6. Проскура Н. И., Шестопалов В. М., Зинкевич Л. И., Шибецкий Ю. А., Алексеева З. М., Жебровская Е. И. Схема классификации радиоактивных отходов для обеспечения долгосрочной безопасности захоронения. *Ядерна та радіаційна безпека*. К., 2014. Вип. 2(62). С. 37—43.
7. Энергетична стратегія України на період до 2030 р. : Стратегія від 24.07.2013. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13> (дата звернення: 07.03.2017).
8. Разработка национальной стратегии и концепции обращения с радиоактивными отходами в Украине, включая стратегию обращения с радиоактивными отходами НАЭК «Энергоатом»: проект TACIS U4.03/4 / Под общ. ред. В. М. Шестопалова. Т. 1. К. : Промінь, 2008. 500 с.
9. Внедрение новой системы классификации РАО в Украине: U.04.01/08-C. Пайнэ. DBE Technology. 2012. Электронно-оптический диск (CD-ROM).
10. Проскура Н. И., Шестопалов В. М., Зинкевич Л. И., Шибецкий Ю. А., Алексеева З. М., Жебровская Е. И. Оценка эффективности внедрения в Украине новой схемы классификации радиоактивных отходов. *Ядерна та радіаційна безпека*. К., 2015. Вип. 1(65). С. 34—40.
11. The Use of Numerical Models in Support of Site Characterization and Performance Assessment Studies of Geological Repositories: TECDOC series, no. 1717. Vienna : IAEA, 2013. 132 p.
12. Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины / Отв. редактор В. М. Шестопалов. К. : НИЦ РПИ НАНУ, 2006. 398 с.
13. Khrushchov, D. and Starodumov, V. Programme and Results of Initial Phase of Radioactive Waste Isolation in Geological Formations in Ukraine : P. A. Witherspoon (ed.). *Geological Problems in Radioactive Waste Isolation (Second world wide review)*. Berkeley : University of California Press, 1996. 241—247 pp.
14. Khrushchov, D. and Tabachny L. Deep Geological Disposal of Radioactive Waste in Ukraine : P.A. Witherspoon and G.S. Bodvarsson (eds.). *Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation (Third world wide review)*. Berkeley : University of California Press, 2001. 283—290 pp.
15. Концепции захоронения радиоактивных отходов в Украине: проект INSC U.04.01/09-B. Пайнэ. DBE Technology. 2017. Электронно-оптический диск (CD-ROM).
16. Rühlig, K.-J., Bogorinski, P. (1998). Feasibility Study for an Underground Repository for Medium Active Long-lived Radionuclides in an Abandoned Mine in the Ukraine. available at: http://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-Jahresbericht_1998.pdf
17. Скворцов Д. В. Возможно ли захоронение радиоактивных отходов в шахтах Украины. К. : ИГНС НАНУ, 2003. 92 с.
18. Ciang, W.H., Kinzelbach, W. 3D Groundwater Modeling with PMWin. Heidelberg: Springer. 2001. 346 p.
19. Помощь министерствам и организациям, ответственным за обращение с радиоактивными отходами в Украине: проект INSC U.04.01/09-A. Пайнэ. DBE Technology. 2016. Электронно-оптический диск (CD-ROM).
- v Ukraini: Rozporiadzhennia vid 19.08.2009 No. 990-r], available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/516-17> (Ukr)
5. On Approval of State Health and Safety Rules “Main Health and Safety Rules of Radiation Safety in Ukraine” Approved by Order No. 54 dated 02 February 2005 [Pro zatverdzhennia derzhavnykh sanitarnykh pravyl “Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky v Ukraini: Nakaz vid 02.02.2005 No. 54], available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05> (Ukr)
6. Proskura, N.I., Shestopalov, V.M., Zinkevich, L.I., Shybetskyi, Yu.A., Alekseeva, Z.M., Zhebrowskaia, Ye.I. (2014), “Radioactive Waste Classification for Long-term Disposal Safety” [Skhema klassifikatsii radioaktivnykh otkhodov dlia obespechaniia dolgosrochnoi bezopasnosti zakhoroneniia], Nuclear and Radiation Safety, Kyiv, 2014, No. 2(62), pp. 37—43. (Rus)
7. Energy Strategy of Ukraine till 2030, Strategy dated 24 July 2013 [Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 r.: Stratehiia vid 24.07.2013], available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13> (Ukr)
8. Shestopalov, V.M. (2008), “Development of National Strategy and Concept of Radioactive Waste Management in Ukraine, Including Strategy for Management of Energoatom Company Radioactive Waste” [Razrabotka natsionalnoi strategii i kontseptsii obrashcheniia s radioaktivnymi otkhodami v Ukraine, vkluchaia strategiiu obrashcheniia s radioaktivnymi otkhodami NAEK “Energoatom”], TACIS U4.03/4, V. 1, Kyiv, Promin, 500 p. (Rus)
9. Implementation of a New Radioactive Waste Classification System in Ukraine U.04.01/08-C [Vnedreniie novoi sistemi klassifikatsii RAO v Ukraine: U.04.01/08-C], Peine, DBE Technology, 2012, CD-ROM. (Rus)
10. Proskura, N.I., Shestopalov, V.M., Zinkevich, L.I., Shebetsky Yu.A., Alekseeva, Z.M., Zhebrowskaia, Ye.I. (2015), “Evaluating the Effectiveness of Implementing New Classification for Radioactive Waste in Ukraine” [Otsenka effektivnosti vnedreniia v Ukraine novoi skhemy klassifikatsii radioaktivnykh otkhodov], Nuclear and Radiation Safety, Kyiv, No. 1(65), pp. 34—40. (Rus)
11. The Use of Numerical Models in Support of Site Characterization and Performance Assessment Studies of Geological Repositories: TECDOC series, no. 1717, Vienna, IAEA, 2013, 132 p.
12. Shestopalov, V.M. (2006), “Geological Disposal of Radioactive Waste in Ukraine” [Izoliatsiia radioaktivnykh otkhodov v nedrah Ukrainy], Kyiv, 398 p. (Rus)
13. Skvortsov, D.V. (2003), “Is it Possible to Dispose of Radioactive Waste in Ukrainian Shafts?” [Vozmozhno li zakhoroneniie radioaktivnykh otkhodov v shakhtakh Ukrainy?], Kyiv, 92 p. (Rus)
14. Khrushchov, D., Starodumov, V. (1996), “Programme and Results of Initial Phase of Radioactive Waste Isolation in Geological Formations in Ukraine”, *Geological Problems in Radioactive Waste Isolation (Second World Wide Review)*, Berkeley, University of California Press, pp. 241—247.
15. Khrushchov, D., Tabachny L. (2001), “Deep Geological Disposal of Radioactive Waste in Ukraine”, *Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation (Third World Wide Review)*, Berkeley, University of California Press, pp. 283—290.
16. Concepts for Radioactive Waste Disposal in Ukraine: U.04.01/09-B Kontseptsii zakhoroneniia radioaktivnykh otkhodov v Ukraine:proekt INSC U.04.01/09-B), Peine, DBE Technology, 2017, CD-ROM. (Rus)
17. Rühlig, K.-J., Bogorinski, P. (1998), “Feasibility Study for an Underground Repository for Medium Active Long-lived Radionuclides in an Abandoned Mine in the Ukraine”, available at: http://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-Jahresbericht_1998.pdf
18. Ciang, W.H., Kinzelbach, W. (2001), “3D Groundwater Modeling with PMWin”, Heidelberg, Springer, 346 p.
19. Assistance to the Ministries and Organizations Responsible for Radwaste Management in Ukraine: U.04.01/09-A [Pomoshch ministerstvam i organizatsiam, otvetstvennym za obrashcheniie s radioaktivnymi otkhodami v Ukraine: proekt INSC U.04.01/09-A], DBE Technology, 2016, CD-ROM. (Rus)

References

1. Law of Ukraine “On Nuclear Energy Use and Radiation Safety” No. 39/95-VR dated 08 February 1995 [Pro vykorystannia yadernoi enerhii ta radiatsiinoi bezpeky: Zakon vid 08.02.1995 No. 39/95-VR], available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (Ukr)
2. Law of Ukraine “On Radioactive Waste Management” No. 255/95-VR dated 30 June 1995 [Pro pozodzhennia z radioaktivnykh vidkhodamy: Zakon vid 30.06.1995 No. 255/95-VR], available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/255/95-%D0%B2%D1%80> (Ukr)
3. Law of Ukraine “On State Targeted Ecological Program of Radioactive Waste Management No. 516-VI dated 17 September 2008 [Zakon Ukrainy “Pro zahalnoderzhavnu tsiliovu ekolohichnu prohramu povodzhennia z radioaktivnykh vidkhodamy], available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/516-17> (Ukr)
4. On Approval of the Strategy for Radioactive Waste Management in Ukraine under Resolution No. 990-r dated 19 August 2009 [Pro skhvalennia Stratehii povodzhennia z radioaktivnykh vidkhodamy

Получено 10.03.2017.