

Обращение с радиоактивными отходами в Швейцарии

Р. Рометч*

Новое законодательство по атомной энергии вступило в силу в Швейцарии в июле 1979 г. В законодательстве отражены новые процедуры и разъяснены условия, при которых могут быть выданы лицензии на ядерные установки. Одним из условий является содержание в проекте гарантий длительной безопасности ядерных отходов, включая окончательное захоронение в хранилище. Выполнение именно этого условия, обеспечивающее охрану здоровья человека, его прав и имущества, теперь предписано законом при обращении с радиоактивными отходами, хотя это оговаривалось в старом законе об атомной энергии. Подобные требования имеются в основном законодательстве для всех других типов отходов.

Причина ужесточения требований закона по отношению к обращению с радиоактивными отходами лежит в коренном изменении общественного представления об атомной энергии. В первые годы использования атомной энергии в мирных целях считалось, что в целях безопасности достаточно применять определенные правила радиационной защиты как к новым типам промышленных ядерных установок, так и к радиоактивным отходам. Только в середине 60-х годов, когда атомная энергия стала конкурентоспособной и началось быстрое (может быть, иногда слишком быстрое) развитие производства ядерной электроэнергии, возникли широкие общественные дебаты. Высказывались беспокойства по поводу негативных последствий от воздействия атомной энергии, и вопрос о радиоактивных отходах обсуждался наиболее остро. Знание характеристик радиоактивного распада позволяет рассчитать остаточную радиотоксичность для далекого будущего, что побуждает людей думать о будущем и требовать конкретной защиты будущих поколений. Подобные требования редко предъявляются в отношении других отходов со стойкой токсичностью.

Такая общественная реакция возникла во многих странах. Этому способствовало также то, что многие люди впервые познакомились с атомной энергией по бомбежке Хиросимы и Нагасаки. Атомная энергия стала символом могущества и несчастья, и побочно производимые ее отходы в создании каждого определенно требовали специального обращения. Разуме-

ется, что страны, оказывающие услуги другим по переработке ядерного топлива, не могут далее принимать на себя ответственность за хранение радиоактивных отходов. Швейцария вследствие своей малой ядерной программы ограничилась ролью заказчика по переработке ядерного топлива и должна соглашаться на новые контракты, предусматривающие возвращение всех отходов переработки для их захоронения на своей территории.

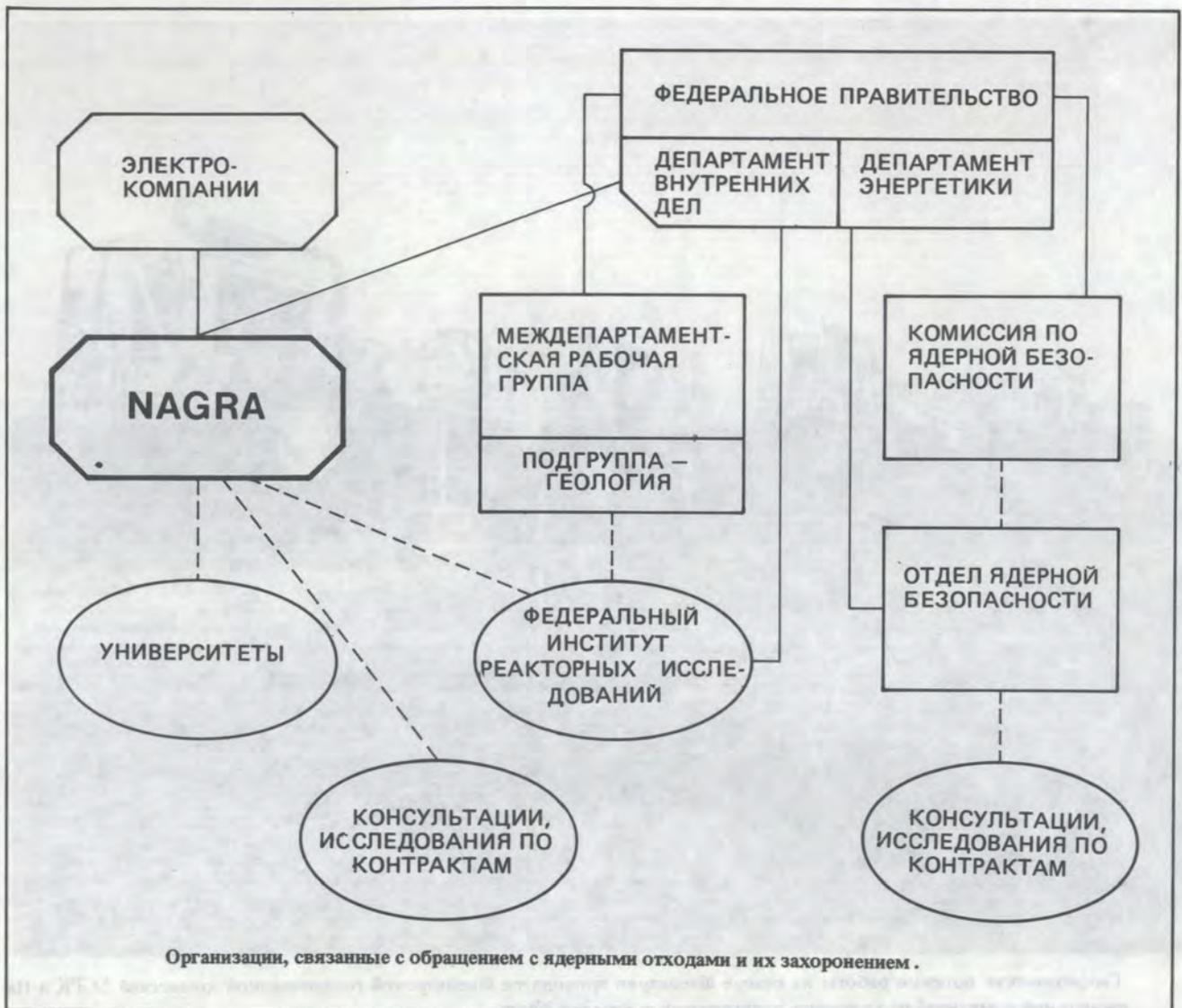
Все эти моменты вызвали в Швейцарии введение нового и более строгого законодательства, которое было ратифицировано большинством голосов при всеобщем референдуме. Так как оно не может быть применено к уже эксплуатируемым атомным электростанциям, Федеральное правительство предъявило требования четырем электроэнергетическим компаниям, эксплуатирующим или сооружающим атомные станции, относительно установления проектов гарантий длительной безопасности обращения с отходами и их захоронения. С 1 января 1986 г. разрешения на эксплуатацию атомных станций не будут возобновляться, если не будет соответствующих проектов гарантий.

Требования, предъявляемые к существующим атомным станциям, также как и условия закона для новых лицензий, следовало бы рассмотреть совместно с другим новым законодательным положением. Новое законодательство не оставляет сомнений относительно того, что в Швейцарии ответственность за окончательное захоронение лежит непосредственно на производителях радиоактивных отходов, хотя правительство оставляет за собой право захоронения за счет производителя. Это право будет использоваться, если у производителей будут помехи в выполнении своих обязательств.

Кто что делает?

Будучи поставленным перед параллельными задачами создания демонстрационного проекта, гарантирующего осуществимость и безопасность захоронения, и подготовки конкретных проектов для реального захоронения радиоактивных отходов всех видов, производители решили поручить одной общей организации обе задачи. Компания Nagra была основана в 1972 г. Ее задачей в то время было обеспечение захоронения отходов с низкой активностью (ОНА). Членами Nagra являются шесть ядерных компаний и Федеральное правительство, представленное Департаментом здравоохранения, который несет ответственность за промышленные, медицинские отходы и отходы от исследований. В 1979 г.

* Г-н Рометч является президентом Национальной компании по хранению радиоактивных отходов, Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle), Паркштрассе 23, CH-5401, Баден, Швейцария, и бывшим заместителем Генерального директора МАГАТЭ, Департамент гарантий.



Nagra получила новые ассигнования. Ей было поручено обеспечить средства захоронения отходов высокой активности (ОВА). По проектам были установлены предельные сроки. На период 1980–1985 гг. ассигнования оцениваются в общих чертах суммой, примерно, в 200 млн. швейцарских франков*. В 1982 г. бюджетное ассигнование составляет 40 млн. швейцарских франков. Постоянный штат Nagra, состоящий только из 30 человек, обеспечивает управленческую структуру проектов, распределение и контроль контрактных работ в университетах и Федеральном институте реакторных исследований (EIR), а также в частных консультационных инженерных и геологических организациях.

Так как правительственные органы, выдающие лицензии, пользуются аналогичными методами работы, важно избежать дублирования. Правительственные интересы в области применения и регулирования

* В апреле 1982 г. 1 швейцарский франк стоил, примерно, 0,51 доллара США.

представляют государственные департаменты, использующие также различные консультационные службы, но не те, что использует Nagra. С другой стороны, в области технических методов, где дублирование целесообразно, оно еще полностью не достигнуто. Например, могут применяться общие методы анализа безопасности. Федеральный институт реакторных исследований (EIR) играет особую роль, выступая в качестве подрядчика по отношению к Nagra и имея независимую программу по отходам. Регулирующие органы могут также привлечь его к решению специальных технических задач. Схема общей организации приводится на рисунке.

Объемы и классификация отходов

В Швейцарии планируются национальные проекты захоронения всех типов радиоактивных отходов. Предполагается отказаться от используемого в настоящее время захоронения в море отходов низкой и средней активности (ОНА и ОСА). Исходя из



Геофизические полевые работы на севере Швейцарии проводятся Швейцарской геофизической комиссией SGPK и Национальной компанией по хранению радиоактивных отходов Nagra.

этого, компании, заинтересованные в атомной энергии, вместе с Nagra опубликовали в 1978 г. основные положения по захоронению всего количества радиоактивных отходов, которые могли бы образоваться в результате максимальной ядерно-энергетической программы. Предполагалось, что установленная мощность ядерных энергетических установок достигнет в конечном счете 6000 МВт (э), хотя в тот момент она составляла только 2000 МВт (э) и сооружались установки мощностью 1000 МВт (э). При возможном времени эксплуатации станции до 40 лет в расчет был принят период в 60 лет. Были также учтены отходы от применения изотопов и ядерных исследований.

Была принята классификация отходов, подобная рекомендуемой и применяемой МАГАТЭ. Она основана на удельной активности, т.е.

от 10^{-9} до 10^{-1} Ки/м³ для ОНА

от 10^{-1} до 10^4 Ки/м³ для ОСА

и свыше 10^4 Ки/м³ для ОВА.

Соответственно для всех типов отходов были выбраны варианты геологического захоронения и определены три типа окончательных хранилищ. Од-

нако более детальный анализ безопасности привел к решению, что ОНА с содержанием долгоживущих радионуклидов выше определенных концентраций подлежат захоронению вместе с ОСА. Такие ОНА будут помещаться в хранилище, обеспечивающее 100-летнюю абсолютную изоляцию (тип А); ОНА с долгоживущими компонентами вместе с ОСА — в хранилище, обеспечивающее около 600 лет абсолютной изоляции, для которого показана очень низкая вероятность геологических возмущений в течение нескольких тысяч лет (тип В); ОВА — в хранилище, где абсолютная изоляция будет сохраняться по крайней мере 1000 лет и для которого по прогнозам геологические возмущения маловероятны для нескольких десятков тысяч лет (тип С). С учетом того, что все отработавшее топливо будет перерабатываться в других странах, а все образующиеся при этом отходы будут возвращаться в Швейцарию, и что все атомные станции по истечении времени эксплуатации будут демонтироваться и радиоактивные части оборудования будут направляться на окончательное захоронение, общий объем отходов за шестьдесят лет примерно составит:

- 100 000 м³ ОНА для хранилища типа А в полостях вблизи поверхности
- 60 000 м³ ОНА-ОСА для хранилища типа В в скальных полостях на глубине от 100 до 600 м
- 1000 м³ ОВА для хранилища типа С в глубоких скальных полостях, в кристаллических породах, подстилающих долины

Недавно по соглашению с междепартаментской Рабочей группой Федерального правительства был также оценен вариант „без переработки”. В результате получается уменьшение объема отходов для захоронений типа В примерно на две пятых, но увеличение объема отходов для захоронений типа С — по крайней мере в десять раз.

Кроме определения объемов отходов и типов хранилищ, важное место в программе работ Nagra занимает определение сроков, к которым должны вводиться различные хранилища. Эти сроки зависят от характеристик промежуточных хранилищ (как централизованных, так и на площадках атомных

электростанций) и длительности цикла переработки и возврата отвержденных отходов. Анализ всех этих факторов представлен в табл. 1, где отражена также ответственность организаций, участвующих в различных этапах обращения с отходами.

Забота о будущих поколениях

Тридцатилетний опыт работы с радиоактивными отходами, конечно, обеспечивает превосходную основу для развития дополнительного этапа, требуемого новым законом, а именно, для обеспечения длительного безопасного захоронения в хранилище, не требующем ни надзора, ни любого вида контроля. Однако ясно, что еще необходим большой объем подробной информации о всех типах геологических захоронений. Особенно важна подробная информация о глубоких геологических формациях, рассматриваемых в плане сооружения в них хранилищ типа С. В соответствии с этими потребностями Nagra развернула широкую программу исследований и разра-

Таблица 1. Этапы обращения с отходами

Источник и категория отходов	Способы фиксации отходов на месте	Время выдержки в хранилище на месте	Время выдержки в промежуточном хранилище, ответственная организация	Конечная обработка, ответственная организация	Конечное хранилище, ответственная организация, год ввода	
Ядерные исследования, применение в медицине и промышленности, ОНА	Нет	1 год, ранний сбор	3–5 лет EIR	Уплотнение, сжигание и бетонирование EIR	Сбор в море EIR 1969 Хранилище типа А Nagra 2000 или позже	
Эксплуатация атомных электростанций, ОНА+ОСА около 1/5	Бетонирование, битумирование или включение в пластики	10–20 лет	3–5 лет EIR	Некоторое дополнительное бетонирование EIR	Сброс в море EIR 1969	
			10–20 лет CEL		Некоторое дополнительное бетонирование Nagra	Хранилище типа В Nagra 1995
Демонтаж атомных электростанций, ОНА, немного ОСА	Разборка и частично бетонирование	В течение операции демонтажа	Не применяются	Некоторое дополнительное бетонирование Nagra	Хранилище типа А Nagra после 2000	
Отработавшее топливо без переработки, ОВА	Нет (хранение под водой)	7–12 лет	50–60 лет CEL	Металлическая или керамическая упаковка Nagra	Хранилище типа С Nagra после 2000	
Отработавшее топливо с переработкой, ОВА	Остекловывание у переработчика	У переработчика 3 года	В Швейцарии 10–20 лет CEL	10–30 лет Nagra	Металлическая или керамическая упаковка Nagra	Хранилище типа С Nagra 2020
Возвращенные от переработки ОСА, небольшая часть	Остекловывание, бетонирование или битумирование	Несколько лет у переработчика	10–20 лет CEL	Возможна дополнительная упаковка Nagra	Хранилище типа В Nagra 1995	

Обозначения ответственных организаций:

EIR — Федеральный институт реакторных исследований.

CEL — Исследовательский консорциум компаний

Nagra — Национальная компания по хранению радиоактивных отходов

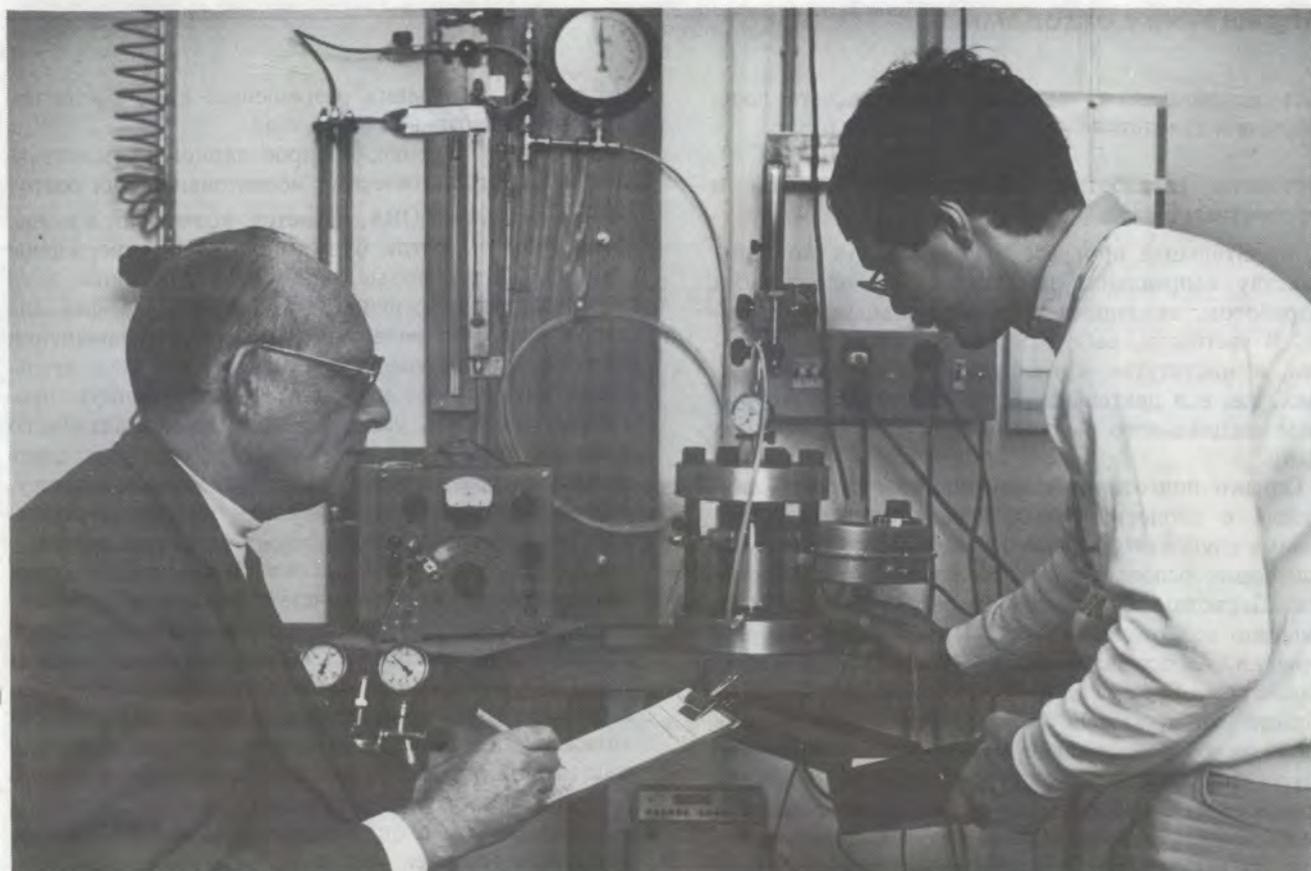
Таблица 2. Программа исследований и разработок Nagra

Проект	Деятельность
Технология отходов	
Классификация специфических ядерных отходов	Анализ литературы, лабораторные работы, расчеты; взаимодействие со станциями; лабораторные работы, крупномасштабные эксперименты
Характеристики стекол с ОВА	Международный проект лабораторных работ
Оценка концепций упаковки ОВА и отработавшего топлива	Литература, инженерные исследования, дополнительная лабораторная работа
Планирование хранилищ	
Проектные работы для хранилищ типа А, В, С	Инженерное проектирование, расчеты
Оценка буферных материалов	Объединенные исследования; международный проект; дополнительная лабораторная работа
Эксперименты на месте	Участие в проекте Stripa, лаборатория горных пород в Гримзеле
Науки о Земле	
Местные и региональные геологические исследования гранитных оснований на севере Швейцарии	Изучение литературы и анализ; геофизика (сейсмические отражения и преломления, гравиметрия, аэромагнитные исследования, магнитотеллурическое зондирование), 12 глубоких скважин (1200–2500 м)
Местная и региональная гидрология на севере Швейцарии	Характеристики минеральных вод, определение возраста изотопов, региональные модели потоков
Тектонические исследования	Исследования тектоники; возможна геодезическая полевая программа; статистика землетрясений
Выбор площадок для хранилищ ОНА/ОСА	Оценка литературы, выбор 3–6 площадок для полевых работ
Характеристики принимающих пород (механика пород, геохимия, сорбция)	Анализ литературы; лабораторная работа по сорбции; эксперименты на местах в ангидритах и в гранитах
Методология определения возраста воды	Разработка и применение методов с использованием ^{39}Ar , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{81}Kr ; исследование методов отбора проб
Анализ безопасности	
Определение критериев помещения отходов в хранилище соответствующего типа	Улучшенная классификация отходов; классификация отходов; упрощенные анализы безопасности
Математическое моделирование:	
гидрогеологии	разработка модели, калибровка, расчет
выщелачивания	разработка модели, калибровка, расчет
химических свойств, растворимости	приспособление модели, расширение объема данных
переноса в геосфере в пористых и трещиноватых средах	разработка модели, взаимное сравнение
переноса в биосфере	приспособление модели, сбор местных данных

боток. Большая часть времени и средств выделяется на геологические, геофизические и гидрологические полевые работы. Основные направления программы исследований показаны в табл. 2.

Подготовительные работы по анализу безопасности включают фундаментальные философские вопросы, касающиеся прогнозирования возможных в далеком будущем возмущений на площадке хранилища и расчета последствий для человека. В октябре 1980 г. Комиссия по атомной энергии Швей-

царии и Отдел ядерной безопасности Департамента энергетики выпустили руководство, которое обеспечивает важную основу для такой работы. Кроме определения концепции „окончательного захоронения“, установлен предел 10 Мбэр/год для дозы облучения, которую индивидуум может получить в любое время вследствие выхода радионуклидов из хранилища. Это определено строгим подходом к анализу безопасности. Однако также признается, что определенные разрушающие события могут



Исследователи в области механики грунтов из Цюрихского политехнического института проводят эксперимент с герметизированным материалом для окончательного захоронения, как часть программы исследований, финансируемой Nagra.

Изучение образцов кернов из скважин Nagra в Гримзеле, Швейцария.



быть исключены из механического расчета дозы облучения вследствие их крайней невероятности.

Состояние разработок, общественные дебаты и перспективы

Значительный прогресс был достигнут по большинству направлений программы исследований и разработок, связанных с радиоактивными отходами. В частности, работа в лабораториях, университетах, в институтах и консультационных организациях, т.е. вся деятельность, не связанная с получением специального разрешения, осуществлялась по плану.

Однако подготовительные полевые работы, связанные с геологическими исследованиями (программа глубокого бурения), значительно запоздали вследствие осложнений в процедурах лицензирования. Первоначально новое законодательство предполагало возложить ответственность за выдачу разрешения непосредственно на Федеральный Совет Министров. Однако демократические процессы в области защиты прав граждан заключают в себе также усложненные административные процедуры. Потребовались консультации с кантональными и муниципальными властями и с некоторыми федеральными департаментами. Более того, пришлось иметь дело со множеством возражений отдельных граждан и групп граждан. Были публичные дебаты с участием общественности. Это потребовало многочисленных информационных собраний, на которых официальные лица и представители Nagra обсуждали спорные вопросы. Министр из Федерального Совета, ответственный за эту работу, посетил местные власти во всех четырех кантонах, в которых планировалось глубокое бурение. В конце концов благоразумно было решено пройти через все обычные местные

процедуры получения разрешения, даже после получения федеральной лицензии.

Глубокое бурение, которое является существенной частью геологических исследований для сооружения хранилищ ОВА, начнется, возможно, в конце лета 1982 г., когда будут полностью утверждены разрешения на первые две или три скважины, хотя федеральное разрешение было выдано в феврале этого года. Для ряда скважин местные разрешения будут получены еще позже. При таких обстоятельствах отсутствуют шансы выполнить полную программу в сроки, установленные для гарантийного проекта. Тем не менее остается задача представить на рассмотрение такой проект к требуемому сроку, даже если он не будет содержать всех заключительных первоначально планируемых результатов.

Проекты реальных хранилищ не затрагиваются имеющими место в настоящее время запаздываниями лицензирования. Сроки в этом случае диктуются практической потребностью в хранилищах типа В для ОНА и ОСА в середине 90-х годов. Для хранилищ типа В было исследовано около тысячи возможных площадок. Из них двадцать были отобраны как наиболее подходящие для дальнейших исследований. Результаты исследований были представлены общественности в опубликованном подробном геологическом отчете.

Очевидно, что только полностью открытые общественные обсуждения всех результатов научных и технических разработок существенно уменьшат разрыв в понимании проблем ядерных отходов основной частью населения и учеными и инженерами, которые разрабатывают на основе своего опыта технические решения, которые, несомненно, достижимы. Такое решение проблемы традиционно в демократической Швейцарии.