



*Российская Академия Наук*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY  
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2017-03

Preprint IBRAE-2017-03

**Н. С. Цебаковская, С. С. Уткин, И. И. Линге, И. А. Пронь**

## **ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОЕКТЫ ЗАХОРОНЕНИЯ ОЯТ И РАО.**

**Часть I. Актуальное состояние проектов создания  
пунктов глубинного геологического захоронения  
в европейских странах**

**Цебаковская Н.С., Уткин С.С., Линге И.И., Пронь И.А.** ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОЕКТЫ ЗАХОРОНЕНИЯ ОЯТ И РАО. ЧАСТЬ I. АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЕКТОВ СОЗДАНИЯ ПУНКТОВ ГЛУБИННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЗАХОРОНЕНИЯ В ЕВРОПЕЙСКИХ СТРАНАХ. Препринт ИБРАЭ № ИВРАЕ-2017-03. Москва: ИБРАЭ РАН, 2017. — 35 с. — Библиогр.: 47 назв. — 61 экз.

#### Аннотация

Данная работа открывает целую серию публикаций, призванных обобщить накопленный за рубежом опыт в сфере создания и эксплуатации подземных исследовательских лабораторий и пунктов глубинного геологического захоронения ОЯТ и долгоживущих РАО.

В настоящей работе описаны последние события, произошедшие с конца 2014 года по начало 2017 года в области глубинного геологического захоронения ОЯТ и РАО в восьми европейских странах, занимающих лидирующие позиции в этой сфере: Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Финляндия, Франция, Швеция, Швейцария. Представлена актуальная информация по планируемым срокам реализации проектов, их стоимости и ключевым аспектам организации работ.

В заключительной части работы приведен краткий перечень основных международных терминов в области геологического захоронения ОЯТ и РАО с указанием общепринятого эквивалента на английском языке и пояснением их значения на основании документов МАГАТЭ и OECD/NEA.

©ИБРАЭ РАН, 2017

**Cebakovskaya N.S., Utkin S.S., Linge I.I., Pron I.A.** INTERNATIONAL EXPERIENCE IN DEEP GEOLOGICAL DISPOSAL OF SNF AND RW. PART 1. CURRENT PROGRESS IN DEEP GEOLOGICAL DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE AND SPENT FUEL IN EUROPEAN COUNTRIES. Preprint IBRAE-2017-03 — Moscow: Nuclear Safety Institute, 2017 — 35 p. — Bibliogr: 47 items.

#### Abstract

This paper is the first in a series summarizing current international experience in the establishment and operation of underground research laboratories and deep geological repositories for spent nuclear fuel and long-lived radioactive waste.

This paper examines recent developments in the field of RW and SNF deep geological disposal (2014 – 2017) in eight European countries: Belgium, the United Kingdom, Hungary, Germany, Finland, France, Sweden, Switzerland. It provides up-to-date information on the planned schedule of disposal operations, relevant costs and management aspects.

The final part of the paper introduces a short list of key definitions widely used in the field of geological disposal that was compiled based on relevant IAEA and NEA/OECD documents.

©Nuclear Safety Institute, 2017

**Зарубежные проекты захоронения ОЯТ и РАО.  
Часть I. Актуальное состояние проектов создания пунктов  
глубинного геологического захоронения в европейских странах**

*Н. С. Цебаковская, С. С. Уткин, И. И. Линге*

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики  
113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52  
тел.: (495) 955-23-06, эл. почта:ceb@ibrae.ac.ru

*И. А. Пронь*

ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами»  
119017, Москва, ул. Пятницкая, д.49А, стр.2  
тел.: (495) 967-94-46, эл. почта:info@noraо.ru

## **Содержание**

Принятые сокращения .....	4
Предисловие И. И. Линге, зам. директора ИБРАЭ, председателя секции № 1 НТС 10 Госкорпорации «Росатом» .....	5
Введение .....	6
1 Бельгия.....	7
2 Великобритания .....	10
3 Венгрия.....	14
4 Германия.....	16
5 Финляндия.....	17
6 Франция .....	19
7 Швейцария .....	22
8 Швеция .....	24
Заключение .....	26
Литература.....	27
Приложение 1. Основные международные термины в области геологического захоронения ОЯТ и РАО .....	29
Литература к приложению 1 .....	32
Приложение 2. Сводная информация по проектам глубинного геологического захоронения ОЯТ и РАО, реализуемым в европейских странах .....	33

## Принятые сокращения

- ANDRA — Национальное агентство по обращению с радиоактивными отходами (Франция)  
ASN — Управление ядерной безопасности (Франция)  
BfE — Федеральное управление по безопасному обращению с ядерными отходами (Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit), Германия  
BfS — Федеральное ведомство по радиационной защите, Германия  
BGE mbH — Федеральная компания по захоронению радиоактивных отходов (Bundesgesellschaft für Endlagerung), Германия  
BGS — Британская геологическая служба (British Geological Survey)  
CIGEO — Проект глубинного геологического захоронения ВАО во Франции  
CLINK — завод по инкапсуляции ОЯТ (который в совокупности с пунктом промежуточного хранения ОЯТ Clab получил название)  
CoRWM — Комитет по обращению с РАО (Великобритания)  
ERDO — Европейская организации по разработке совместного проекта захоронения  
HADES — High Activity Disposal Experimental Site — ПИЛ для изучения особенностей захоронения долгоживущих САО и ВАО в бумских глинах  
KBS-3 — Концепция глубинного геологического захоронения ОЯТ, разработанная в Швеции  
Nagra — Национальное кооперативное общество по захоронению РАО (Швейцария)  
NDA — Nuclear Decommissioning Authority, Управление по выводу из эксплуатации ядерных объектов Великобритании  
OECD/NEA — Агентство по атомной энергии при Организации экономического сотрудничества и развития (англ. Nuclear Energy Agency OECD)  
ONDRAF/NIRAS — National Agency for Radioactive Waste and Fissile Materials — Бельгийское агентство по обращению с РАО и делящимися материалами (в ведении Министерства экономики, малого и среднего бизнеса и энергетики)  
ONKALO — Объект для характеристики пород в Финляндии (подземная исследовательская лаборатория конкретного назначения)  
Posiva Oy — Компания, ответственная за реализацию проекта глубинного геологического захоронения ОЯТ в Финляндии  
PURAM — Государственное агентство по обращению с РАО  
RWMD NDA — Отдел по обращению с радиоактивными отходами при Управлении по выводу из эксплуатации ядерных объектов Великобритании  
SCK•CEN — Бельгийский исследовательский центр  
SFOE — Федеральное энергетическое управление Швейцарии  
SKB — Шведская компания по обращению с ОЯТ и РАО  
SSM — Управление по ядерной безопасности  
STUK — Управление по радиационной и ядерной безопасности (Швеция)  
АЭС — Атомная электростанция  
ВАО — Высокоактивные отходы  
ДЖ НСАО — Долгоживущие низко- и среднеактивные отходы  
ЗСО — Зона структурного ослабления (возникает вследствие проведения горнопроходческих работ)  
МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергии  
НАО — Низкоактивные отходы  
НИОКР — Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы  
ОВОС — Оценка воздействия на окружающую среду  
ОЯТ — Отработавшее ядерное топливо  
ПЗРО — Пункт захоронения радиоактивных отходов  
ПИЛ — Подземная исследовательская лаборатория  
РАО — Радиоактивные отходы  
САО — Среднеактивные отходы

## **Предисловие И. И. Линге, заместителя директора ИБРАЭ, председателя секции № 1 НТС 10 Госкорпорации «Росатом»**

Понимание сложности обоснования долгосрочной безопасности геологического пункта захоронения РАО и необходимости максимального вовлечения наиболее компетентных специалистов России инициировало обсуждение этой темы НТС №10 Госкорпорации «Росатом» и создание специальной секции НТС №10. В 2016 году по результатам рассмотрения вопроса решением секции рекомендовалась постановка НИР по разработке стратегического плана исследований в создаваемой подземной лаборатории. Предложение было поддержано Дирекцией по госполитике в области обращения с ОЯТ, РАО и ВЭ. Летом 2016 года, после соответствующего конкурса исполнителем работ был определен ИБРАЭ РАН. Весной 2017 ИБРАЭ РАН выиграл конкурс уже на трехлетний контракт на продолжение этой работы, что позволяет более осознанно строить информационную составляющую этой работы. Последняя, в свою очередь, представляется чрезвычайно важной как минимум по двум причинам. Во-первых, проблема комплексная и междисциплинарная. Можно утверждать, что ни один из специалистов и не одна из научных организаций России, да и мира тоже, не в состоянии подтвердить компетентность по всем аспектам проблемы. Поэтому важно развитие информационного сервиса для участников работ, в том числе в форме различного рода аналитических обзоров. Во-вторых, необходима демонстрация объективного прогресса. Только максимальное и полное вовлечение наиболее компетентных специалистов России в обсуждении этой темы и оценку результатов работ по обоснованию безопасности может дать эффект поддержки проекта со стороны научно-технического сообщества.

Данная работа открывает серию препринтов ИБРАЭ по зарубежному опыту создания ПИЛ. Поэтому напомним, что в 2015 году специалистами ИБРАЭ РАН и ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» был подготовлен обзор [1], позволивший представить опыт 15 стран (Австралия, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Нидерланды, Испания, Канада, США, Финляндия, Франция, Швейцария, Швеция, Чехия, Япония), реализующих собственные проекты, призванные обеспечить долгосрочную безопасность захоронения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, которое в ряде стран относится к отходам ядерных технологий. По каждой из пятнадцати стран были представлены следующие сведения: ведомства, ответственные за реализацию проектов захоронения в стране; классификация РАО, реестр РАО (прогнозные и фактические данные), имеющиеся в стране установки по обращению с РАО, проекты по созданию пунктов геологического захоронения РАО (подходы к организации работ по проектам, включая этап выбора площадки, принятие решений местными органами власти, взаимодействие с общественностью, финансирование, подготовка обоснования безопасности для лицензирования установок и т.п.), подземные исследовательские лаборатории.

В рамках нескольких работ планируется дать существенное расширение подготовленного в 2015 году издания с его актуализацией по итогам работ 2014-2017 годов. В последующем, по мере уточнения облика российской ПИЛ, будет целесообразно опять вернуться к формату монографии, в которой можно будет дать сопоставительный материал — как соотносятся задачи и методы решения, ставящиеся в отечественной ПИЛ и за рубежом.

Издание предназначено для специалистов в области обоснования безопасности при использовании атомной энергии, а также и в особой мере для специалистов участвующих в работах по созданию ПГЗРО в НКМ.

## Введение

Проблема безопасного захоронения РАО является одной из тех проблем, от которых в значительной степени зависят масштабы и динамика развития атомно-энергетической отрасли в целом. На сегодняшний день всеобщее признано, что наиболее эффективным и безопасным решением проблемы окончательной изоляции долгоживущих и высокоактивных РАО, а также ОЯТ является их захоронение в установках, размещаемых на глубине не менее 300-500 м в глубинных геологических формациях с соблюдением принципа многобарьерной защиты и обязательным переводом ЖРО в отвержденное состояние. Такой подход позволяет обеспечить пассивную долгосрочную изоляцию радионуклидов от биосферы.

В 2015 году специалистами ИБРАЭ РАН и ФГПУ «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» был подготовлен обзор [1], описывающий опыт 15 стран, реализующих собственные проекты, призванные обеспечить долгосрочную безопасность захоронения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, которое в ряде стран относится к отходам ядерных технологий. В целом представленный в обзоре материал позволяет оценить все разнообразие существующих в мире подходов к вопросу выбора площадок для размещения пунктов захоронения РАО и вовлечению в этот процесс различных заинтересованных сторон.

Поэтому в рамках настоящей работы было решено лишь вкратце остановиться на истории реализации проектов глубинного геологического захоронения РАО в странах, представленных в предыдущем обзоре, уделив основное внимание описанию прогресса, достигнутого за годы, прошедшие с момента его публикации (т.е. начиная с осени 2015 года). Так, например, в октябре 2015 года в Бельгии была утверждена Национальная программа по обращению с ОЯТ и РАО, в которой среди всего прочего была представлена новая система классификации РАО, зафиксированы основные положения программы по обеспечению долгосрочной безопасности обращения с ОЯТ, определен приблизительный график реализации проекта по созданию пункта геологического захоронения и т.п.

Первые две публикации из запланированной серии препринтов ИБРАЭ РАН позволят оценить прогресс, достигнутый за последние три года, в области глубинного геологического захоронения ОЯТ и РАО в странах, занимающих лидирующие позиции в этой сфере. В первой части представлена актуальная информация по восьми европейским странам: Бельгии, Великобритании, Венгрии, Германии, Финляндии, Франции, Швеции, Швейцарии (Приложение 2). В рамках второй части данной работы планируется актуализировать информацию по США и Канаде, а также по четырем странам азиатского региона: Японии, Южной Корее, Индии и Китаю. Последние три страны не были представлены в предыдущем обзоре, поэтому в соответствующие разделы планируется включить не только актуальную информацию по вопросу создания пунктов глубинного геологического захоронения, но и некоторые сведения, касающиеся национальных особенностей обращения с ОЯТ и РАО, характерных для этих стран в целом.

Следует отметить, что некоторые страны, представленные в первом обзоре, были исключены из дальнейшего рассмотрения, например, в виду медленных темпов реализации проектов (к примеру, Нидерланды планируют принять решение о необходимости сооружения пункта глубинного геологического захоронения только через 100 лет).

Сегодня в мире функционирует два пункта геологического (или подземного) захоронения (объект окончательной изоляции короткоживущих НСАО в Швеции (SFR), расположенный на глубине 60 м ниже уровня моря, и пункт захоронения НСАО в Республике Корея (130 м)) и два пункта глубинного геологического захоронения ТРО (так называемая опытная установка по изоляции трансурановых РАО WIPP в США (штат Нью-Мексико) и пункт захоронения короткоживущих НСАО в Венгрии, сооруженный на глубине 250 м во вмещающих породах из гранита). Еще один недействующий пункт захоронения НСАО имеется в Германии — здесь в соляных формациях расположен ПЗРО Ассе II, принимавший отходы в 1970-е годы. На данный момент из-за зафиксированного в южной части установки интенсивного притока соляных вод принято решение об извлечении всех захороненных в нем отходов и их перезахоронении на другой площадке. В других странах проекты создания подобных объектов находятся на различных стадиях реализации — от выбора площадки для строительства до сооружения самой установки (Финляндия).

Среди всех стран, реализующих программы по созданию пунктов геологического захоронения ВАО и ОЯТ, наибольшего прогресса достигла Финляндия. В ноябре 2015 года финский регулятор STUK выдал оператору площадки компании Posiva Oy лицензию на сооружение пункта захоронения. При этом уже имеющаяся ПИЛ ONKALO станет частью самого пункта захоронения. 25 ноября 2016 года STUK подтвердил готовность Posiva Oy к началу строительных работ на площадке, а в декабре 2016 года на площадке стартовали работы по проходке нескольких главных тоннелей будущего пункта захоронения, а также отходящих от них камер, предназначенных для вертикального захоронения канистр с ОЯТ.

# 1 Бельгия

Осенью 2015 года правительство Бельгии утвердило официальную программу по обращению с РАО и ОЯТ, что ознаменовало несколько важных изменений в отношении практики обращения с долгоживущими НСАО, ВАО и ОЯТ:

- ОЯТ было официально отнесено к категории РАО;
- была пересмотрена классификация РАО;
- были обновлены данные по реестру РАО (фактический объем накопленных отходов и прогнозные данные);
- определен приблизительный график реализации проекта по созданию пункта глубинного геологического захоронения в Бельгии.

Долгое время все ОЯТ, образующееся в Бельгии подлежало переработке, и лишь в 1993 году правительство страны ввело соответствующий мораторий. Несмотря на введенный запрет на переработку ОЯТ, до 2015 года официального документа, согласно которому ОЯТ признавалось бы РАО, не существовало.

Так, согласно бельгийскому законодательству, к категории РАО следует относить «любые вещества, не предназначенные для дальнейшего использования с содержанием радионуклидов, превышающим предельные значения, при которых может быть разрешено их неконтролируемое захоронение или использование».

В октябре 2015 года правительство Бельгии утвердило официальную программу обращения с ОЯТ и РАО в соответствии с положениями Директивы Евратома 2011/70/ Euratom от 19 июля 2011 года. Отныне согласно бельгийской классификации, не переработанное ОЯТ относится к отходам категории С\* и подлежит окончательной изоляции в глубинных геологических формациях после предварительной выдержки в целях снижения тепловыделения [2]. В соответствии с положениями новой программы, бельгийская система классификации РАО по-прежнему включает три категории отходов, однако сами определения несколько изменились (табл. 1).

**Таблица 1. Определения категорий РАО, согласно старой и новой классификации**

Категория РАО	Старая классификация РАО	Новая классификация РАО
<b>А</b> (короткоживущие НАО и САО)	кондиционированные отходы с настолько низкой активностью радиоактивных элементов и малым периодом полураспада, что их допустимо захоранивать на поверхности. Данная категория включает короткоживущие НАО и САО, содержащие лишь незначительные количества долгоживущих альфа-излучателей (т.е. большинство радиоактивных элементов в их составе имеет период полураспада 30 лет и менее). Такие отходы следует изолировать от человека и окружающей среды на срок не менее 300 лет, пока уровень их активности не уменьшится не менее чем в 1 000 раз.	короткоживущие низкоактивные и среднеактивные кондиционированные отходы, содержащие незначительные количества долгоживущих радионуклидов, при этом период их потенциальной опасности не превышает нескольких сотен лет. Такие отходы могут быть захоронены в поверхностных или приповерхностных установках. Данная категория отходов соответствует классу НАО, согласно классификации МАГАТЭ от 2009 года [3]
<b>В</b> (долгоживущие НАО/САО)	кондиционированные НАО и САО, содержащие долгоживущие альфа-излучатели в таких количествах, что данные отходы нельзя отнести к категории А. В тоже время, низкий уровень тепловыделения не позволяет отнести их к категории С	низкоактивные и среднеактивные кондиционированные отходы, содержание долгоживущих радионуклидов в которых обуславливает период потенциальной опасности для человека и окружающей среды продолжительностью от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч лет. Уровень тепловыделения, исходящий от таких отходов достаточно высок на момент их кондиционирования, но после длительного хранения становится ниже требуемого для отнесения к категории С. Данная категория отходов соответствует классу САО, согласно классификации МАГАТЭ от 2009 года [3]

\* всего, согласно бельгийской системе классификации РАО, выделяют три категории отходов: А, В и С, которые приблизительно соответствуют принятым в РФ категориям НАО, САО и ВАО.

<p>С (коротко-живущие и долго-живущие ВАО)</p>	<p>кондиционированные ВАО, содержащие значительные количества бета- и гамма-излучателей с коротким периодом полураспада и большие количества долгоживущих альфа-излучателей. Из-за высокой активности такие отходы, как правило, характеризуются значительным уровнем тепловыделения (более 20 Вт/м<sup>3</sup>).</p>	<p>кондиционированные высокоактивные отходы, содержащие значительные количества долгоживущих радионуклидов, которые как и отходы категории В обуславливают период потенциальной опасности длительностью от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч лет. После промежуточной выдержки тепловыделение, исходящее от помещенных в пункт захоронения отходов этой категории, будет приводить к нагреву вмещающих установок пород. Данная категория отходов соответствует классу ВАО, согласно классификации МАГАТЭ от 2009 года [3]. К категории С также относятся остеклованные РАО, образовавшиеся в результате переработки коммерческого ОЯТ, и не переработанное ОЯТ, отнесенное к классу РАО, за исключением некоторых видов топлива, образующихся в результате работы исследовательских реакторов, которое следует относить к категории В.</p>
--	---	--

Что касается отходов, относящихся к категориям В и С, для которых в соответствии с официальной политикой Бельгии предусмотрена окончательная изоляция в одной установке глубинного геологического захоронения, то в [2] также представлены обновленные данные по реестру РАО (накопленные и прогнозные объемы), с учетом предположения о том, что эксплуатация семи действующих на сегодняшний день бельгийских реакторов продолжится в течение следующих 40 лет:

- РАО категории В — от 11 000 до 10 430 м<sup>3</sup>;
- РАО категории С — от 600 до 4 500 м<sup>3</sup>.

Вообще программа по исследованию геологических формаций, пригодных для создания пункта окончательной изоляции отходов категории В и С в Бельгии, была запущена еще в 1970-ые гг. В 1974 году стартовал проект, направленный на более детальное изучение формаций бумских глин в регионе Моль, проводимых под эгидой бельгийского исследовательского центра SCK•CEN. В 1980 году начались работы по сооружению первой в своем роде подземной исследовательской лаборатории HADES, а с 1995 года руководство проектом исследований, получившим название EURIDICE, было поручено ONDRAF/NIRAS.

Утверждение Национальной программы по обращению с ОЯТ и РАО в 2015 году стало важным шагом на пути реализации проекта создания пункта глубинного геологического захоронения в Бельгии, который позволит в скором времени перейти от этапа НИОКР, призванных доказать техническую и экономическую целесообразность создания такой установки к следующему, а именно: поиску площадки и получению лицензии на строительство объекта. Между тем положения программы до сих пор формально не определяют стратегию обращения с ОЯТ: будет ли оно подлежать прямому захоронению в геологических формациях или же захоронению подлежат ВАО, получаемые от переработки ОЯТ.

Согласно предварительным планам, изложенным в Программе, с момента получения лицензии на строительство и эксплуатацию установки до захоронения первой партии отходов категории В может пройти не менее 15 лет, а категории С — не менее 55 лет (с учетом необходимости выдержки РАО в целях снижения уровня тепловыделения в течение не менее 60 лет после выгрузки из реактора, что позволит предотвратить чрезмерное нарушение вмещающих формаций). Планируемая длительность эксплуатации пункта захоронения до момента его окончательного закрытия составит не менее 100 лет.

Что касается затрат на реализацию проекта, включающих работы по сооружению установки, ее эксплуатации и закрытию, а также осуществлению ведомственного контроля на площадке, то они составят порядка 3,2 млрд евро при условии размещения пункта захоронения в формации бумских глин на глубине, соответствующей глубине расположения ПИЛ HADES (230 м) и переработки ОЯТ в полном объеме. При этом суммарные затраты на НИОКР, проведенные в период с 1974 по 2014 год составили около 360 млн евро, т.е. в среднем на этих цели ежегодно расходовалось порядка 9 млн евро [2].

К настоящему времени концепция захоронения отходов категории В и С достаточно детально проработана (рис.1). Пункт захоронения будет состоять из целого ряда галерей, проложенных в толще бумских глин на глубине от 230 до 240 м. Галереи захоронения будут отходить от центральной галереи доступа, проложенной под углом естественного наклона глиняной формации (около 1%) в северо-западном направлении. Центральная галерея, в свою очередь, будет соединена с поверхностью посредством двух стволов шахт.

\* Boom Clay – геологическая формация, выбранная для размещения ПГЗРО в Бельгии



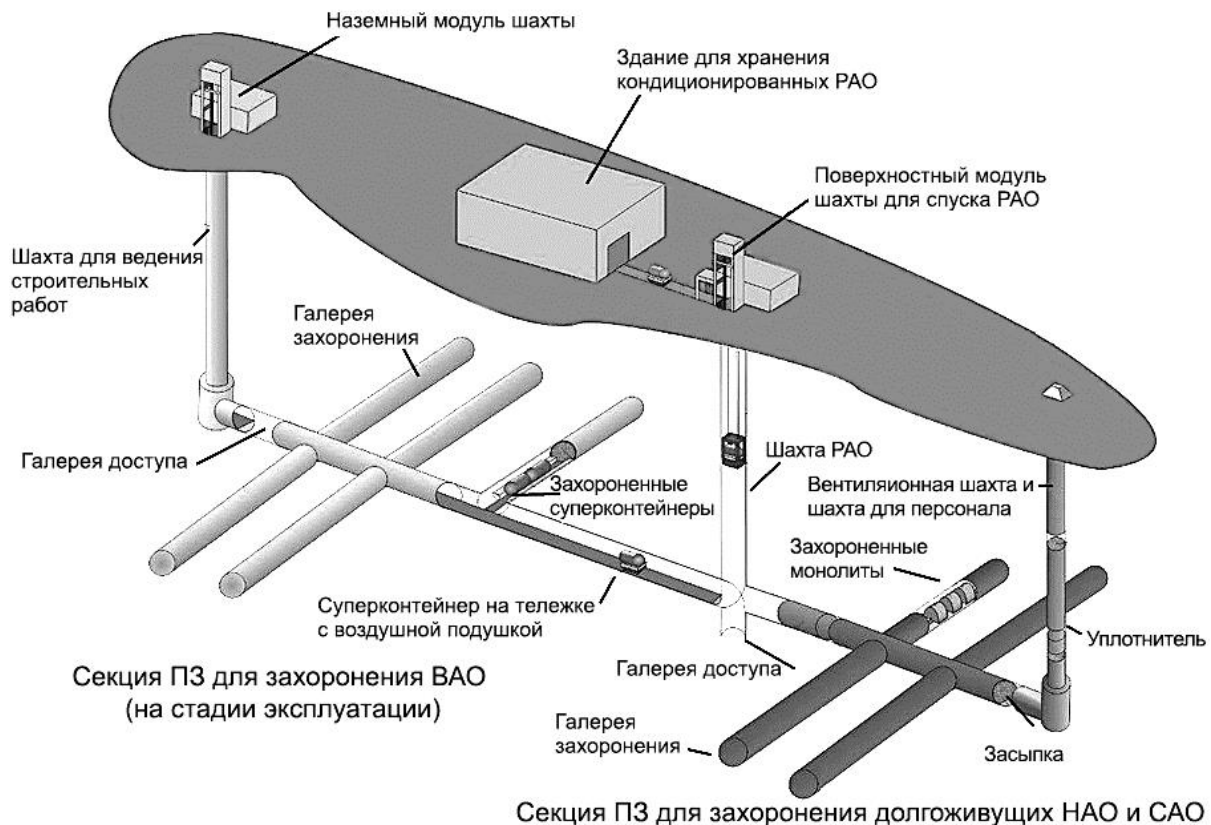


Рисунок 1 — Проект бельгийского пункта захоронения РАО категории В и С

Отходы будут захораниваться в горизонтальных галереях, облицованных сборными бетонными плитами. Сам пункт захоронения состоит из трех секций: одна будет использоваться для захоронения отходов категории С, другая — для удаления исторических отходов категории В, а третья — для окончательной изоляции отходов категории В, образующихся в результате переработки ОЯТ, а также в ходе эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС и других ядерных установок. В основе концепции захоронения лежат четыре стратегических решения, принятых разработчиками проекта:

конструкция инженерных барьеров безопасности, устанавливаемых в зоне захоронения тепловыделяющих отходов, должна обеспечивать полное удержание радионуклидов, по крайней мере — до окончания стадии активного тепловыделения;

- различные категории отходов должны быть захоронены в разных секциях пункта захоронения;
- предпочтительно использование стационарных конструкций, защищающих от испускаемого отходами излучения. Также следует предусмотреть меры, позволяющие свести к минимуму время пребывания персонала под землей;
- предпочтительно использование знаний и технологий, по которым накоплены достаточный опыт и знания.

Эти ограничения нашли свое отражение при проектировании «суперконтейнеров» для захоронения отходов категории С (отработавшее урановое оксидное топливо, отработавшее МОКС-топливо, остеклованные ВАО). В рамках «суперконтейнерной» концепции (рис. 2) инженерные барьеры безопасности будут состоять из внешней упаковки, изготовленной из углеродистой стали, окруженной бетоном (портландцемент общего назначения). Остальные элементы системы захоронения, такие как засыпка и облицовка галерей, также будут изготавливаться из материалов на основе цемента. Такие конструкции обеспечат полное удержание отходов на протяжении, как минимум, нескольких тысяч лет.

Что касается категории В, то для захоронения таких отходов также планируется использовать материалы на основе цемента, обеспечивающего хорошую защиту от радиоактивного излучения и обладающего хорошими сорбционными свойствами (см. рис. 2). Кроме того, поведение этого материала достаточно хорошо изучено, его легко контролировать и его стоимость невысока. Так отходы категории В планируется помещать в контейнеры из армированного бетона, называемые монолитами (подобные тем, что будут использованы при поверхностном захоронении РАО в Десселе).

Следует отметить, что концепция создания пункта захоронения в слабонасыщенных глиняных формациях обеспечивает значительную гибкость в точки зрения процесса принятия решений, позволив адап-

тировать проект под различные объемы захоронения отходов категории В и С. Так, площадь, занимаемая установкой в случае захоронения ВАО, образовавшихся в результате переработки всего объема коммерческого ОЯТ, составит порядка 2 км<sup>2</sup>, а случае захоронения ОЯТ без предварительной переработки — 3 км<sup>2</sup>.

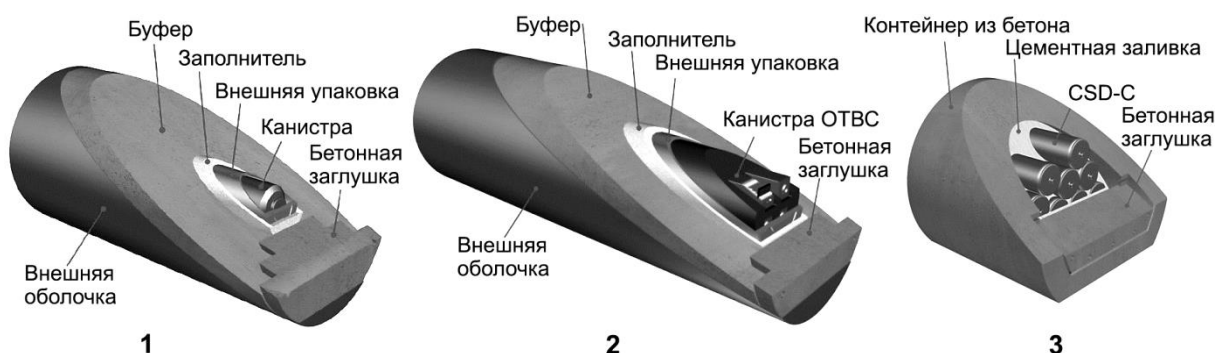


Рисунок 2 — Внешний вид «суперконтейнеров» для захоронения ОЯТ и остеклованных ВАО (1, 2) и монолита для захоронения отходов категории В (3)

## 2 Великобритания

Последним значимым событием в истории реализации проекта создания пункта глубинного геологического захоронения ВАО стала публикация летом 2014 года Белой книги (правительственного информационного документа), описывающей основные положения обновленной стратегии по привлечению населения к процессу поиска площадки в Великобритании. С 2015 года Управлением по обращению с РАО Великобритании (RWM)\* был опубликован ряд документов, конкретизирующих некоторые положения Белой книги:

- в 2016 году опубликовано руководство по сбору и представлению информации в рамках процесса национального геологического скрининга, призванного собрать воедино всю информацию по особенностям геологических формаций, располагающихся на глубине от 200 до 1000 м на территории Англии, Уэльса и Северной Ирландии;
- в мае 2016 года был опубликован подробный план проведения НИОКР общей направленности, включающий 1031 технологических карт, каждая из которых соответствовала определенной задаче, а также график реализации данных работ;

Новую кампанию по поиску площадки для сооружения пункта захоронения продолжительностью 15 – 20 лет планируется запустить в течение 2017 года.

Политика Великобритании предполагает переработку производимого в стране ОЯТ. Все ВАО, образующиеся в результате переработки ОЯТ, остекловывают и в целях снижения остаточного тепловыделения направляют на хранение продолжительностью 50 лет. К 2045 году Великобритания планирует перейти на сухое контейнерное хранение ОЯТ и ввести в эксплуатацию автономную установку для хранения ОЯТ (англ. Independent Spent Fuel Storage Installation). В таком виде топливо будет храниться до 2080 года, затем его извлекут и направят на завод по инкапсуляции, после чего, в 2100 году, окончательно изолируют в пункте глубинного геологического захоронения [1].

Британское правительство продвигает идею создания в стране пункта глубинного геологического захоронения для окончательной изоляции отходов с высоким уровнем тепловыделения еще с начала 1980-х годов. Однако запущенная в те годы программа по выбору площадок для опытного бурения, призванного выявить пригодные для сооружения такого объекта участки, была достаточно быстро закрыта из-за решительной оппозиции со стороны местных жителей.

В 1982 году правительство Великобритании заявило о том, что решение о стратегии обращения с ВАО может быть отложено еще на 50 лет. В том же году был учрежден Исполнительный комитет по контролю за радиоактивными отходами ядерной промышленности — ведомство, ответственное за рассмотрение вопросов, связанных с глубинным геологическим захоронением НАО и САО, в контексте без-

\* национальный оператор по захоронению ВАО и ОЯТ, находящийся в ведении NDA (Управления по выводу из эксплуатации ядерных объектов Великобритании), занимающийся исключительно вопросами поиска площадки для строительства пункта захоронения, в то время как сфера полномочий самого NDA охватывает весь круг вопросов по обращению с РАО

опасности данной концепции для окружающей среды и человека, а также финансового обеспечения работ. В 1985 году данная организация была трансформирована в акционерную компанию Nigex.

За несколько лет исследований Nigex удалось выявить целый ряд площадок, потенциально пригодных для сооружения пункта захоронения. При этом в целях повышения уровня принятия проекта местными жителями Nigex заявил о том, что возможность повторного извлечения захороненных отходов будет сохранена на протяжении 300 лет после их размещения в объекте окончательной изоляции, что позволит будущим поколениям осуществлять обращение с этими РАО по собственному усмотрению. К середине 1990-ых гг. круг рассматриваемых площадок был сужен до одной, расположенной неподалеку от ядерного комплекса Селлафилд, где Nigex предложил построить объект для характеристики пород — т.е. подземную исследовательскую лабораторию, которая впоследствии могла бы стать частью самого пункта захоронения [4].

В ноябре 2003 года правительство Великобритании учредило специальный консультативный государственный орган CoRWM (Комитет по обращению с РАО), оказывающий независимую экспертную поддержку по всем вопросам, связанным с обращением с высокоактивными отходами. CoRWM должен был «начать с чистого листа» и проанализировать все возможные стратегии обращения с ВАО и ОЯТ, поэтому от идеи создания ПИЛ вблизи Селлафилда было решено отказаться. В результате к 2006 году на основании выводов, сделанных CoRWM, правительство Великобритании утвердило стратегию долгосрочного обращения с ВАО, согласно которой «высокоактивные отходы подлежат глубинному захоронению в геологических формациях после предварительной выдержки в пунктах промежуточного хранения в течение 50 лет». При этом CoRWM предложил два возможных проектных решения для такого пункта захоронения: закрытие после размещения отходов или обеспечение возможности для повторного извлечения отходов на срок до 300 лет.

Основываясь на рекомендациях CoRWM в июне 2008 года правительство Великобритании опубликовало Белую книгу (правительственный информационный документ) «Обеспечение безопасного обращения с РАО», содержащую описание основных этапов процедуры поиска площадки для сооружения пункта захоронения ВАО. В основу процедуры поиска площадки легли два основных принципа: принцип добровольного участия муниципалитетов-кандидатов и партнерства с ними [5]. Данная публикация ознаменовала старт новой кампании по поиску площадки. В 2008 году Совет графства Камбрия принял решение об участии в проекте. Однако спустя пять лет после повторного голосования Совета данный регион был снят с дальнейшего рассмотрения.

В июле 2014 года, спустя полтора года после отказа местных жителей от идеи строительства пункта захоронения в графстве Камбрия, правительство Великобритании опубликовало положения обновленной политики по долгосрочному обращению с ВАО в формате Белой книги «На пути к созданию пункта геологического захоронения» [6]. В Книге было определено три основных направления дальнейшей работы:

- Национальный геологический скрининг;
- Обеспечение основы для разработки официального документа «Заявления о национальной политике обращения с ВАО», на основании которого премьер министр Великобритании и Комитет планирования смогут принимать решения о выдаче разрешений на проведение бурильно-разведочных работ на потенциально пригодных для сооружения пункта захоронения площадках и создание самого объекта;
- Разработка процедуры взаимодействия с местным населением: определение механизма, с помощью которого местные жители могли бы участвовать в процессе принятия решений по проекту (рабочая группа, состоящая из представителей местного населения); предоставление насколько это возможно полной информации о финансовом обеспечении муниципалитетов, участвующих в проекте; разработка механизма, благодаря которому представители муниципалитетов могли бы обращаться к независимым экспертам для получения советов по ключевым вопросам технического характера, возникающим в процессе поиска площадки.

Что касается национального геологического скрининга, то под ним понимается программа работ, которая позволила бы собрать воедино всю имеющуюся информацию по всем аспектам геологии, важным с точки зрения обеспечения безопасности пункта геологического захоронения в долгосрочной перспективе (географическое распределение потенциально пригодных для сооружения объекта стабильных вмещающих геологических формаций; особенности, которые могли бы повлиять на перемещение грунтовых вод с отметки, соответствующей глубине размещения пункта захоронения, до поверхности земли; последствия возможных изменений геологических условий, возникающих, например, в результате поднятия уровня моря или смены ледниковых эпох, на распределение различных ресурсов) и представить ее на суд широкой общественности в доступном и удобном формате. Такая база знаний, объединяющая в себе информацию по геологическим формациям, залегающим на глубине до 1 000 м на территории Англии, Уэльса и Северной Ирландии, необходима для построения успешного диалога с местными жителями, на ранних этапах новой программы по поиску площадки.

Процедура геологического скрининга разбита на два этапа: разработка методических указаний и непосредственно реализация работ по скринингу. В 2016 году были опубликованы материалы руководства, определяющие формальную процедуру сбора и представления информации [7].

В данном документе также вкратце описана последняя версия общей концепции захоронения РАО в глубинных геологических формациях. Как видно из рис. 3, подземная часть объекта будет состоять из камер и тоннелей для захоронения отходов, а с установками, размещенными на поверхности, будет соединена посредством вертикальных шахтных стволов и наклонного спиралевидного спуска. Предполагаемая глубина заложения установки может составить от 200 до 1000 м, а площадь объекта — от 10 до 20 км<sup>2</sup>. На рис. 4 схематично изображены основные компоненты многобарьерной системы обеспечения безопасности при захоронении отходов с низким и высоким уровнем тепловыделения.

На данный момент, основываясь на положениях руководства, ученые и инженеры, задействованные в проекте по созданию пункта геологического захоронения, ведут работу с Британской геологической службой BGS (англ. British Geological Survey), наиболее авторитетным источником информации по геологии Великобритании. Задача BGS — подготовить целый ряд технических информационных отчетов и карт по каждому региону, на основании которых Управление по обращению с РАО (RWMD NDA) подготовит собственный геологический отчет, описывающий ключевые характеристики геологической среды в регионах и их значимость в контексте обеспечения долгосрочной безопасности, формат которого был бы понятен для широкого круга заинтересованных сторон, в том числе и неспециалистов.

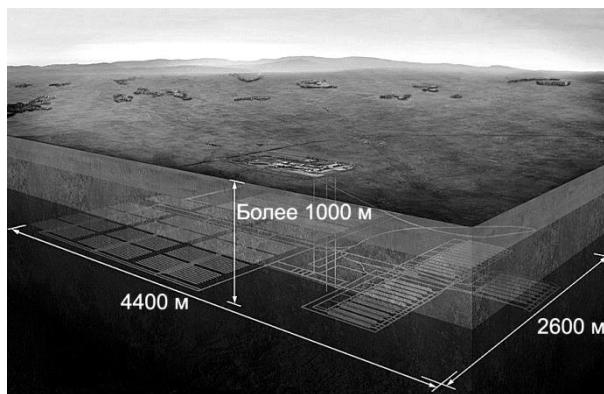


Рисунок 3 — Проект пункта глубинного геологического захоронения в Великобритании

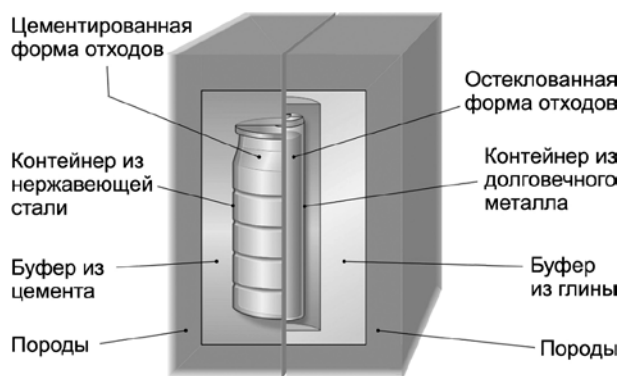


Рисунок 4 — Пример многобарьерной системы безопасности для разных категорий захораниваемых отходов

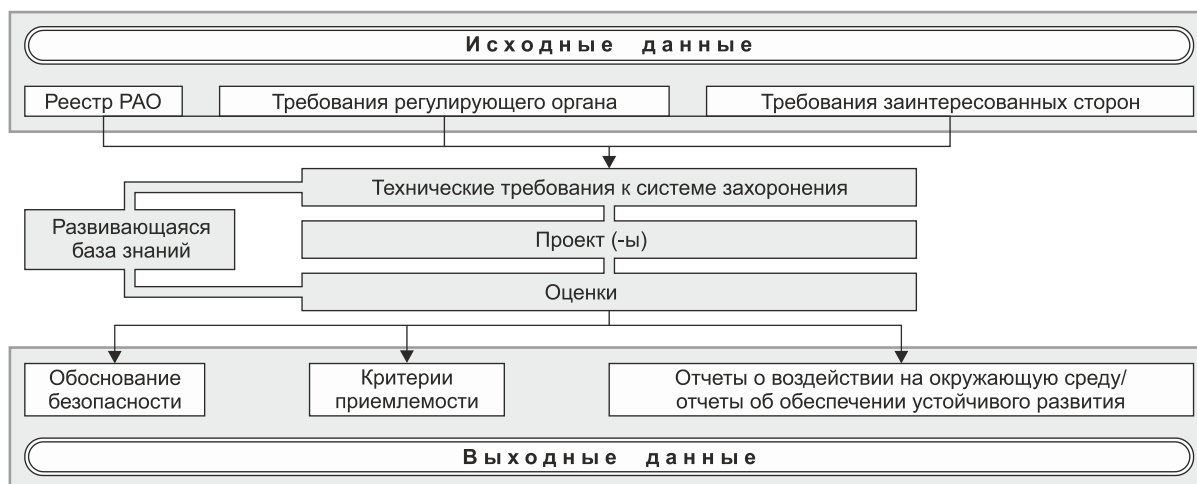


Рисунок 5 — Итерационный процесс разработки проекта пункта глубинного геологического захоронения

Создание пункта геологического захоронения — это итерационный процесс, для организации которого необходимо выявить и спланировать определенные комплексы технических работ, реализация которых необходима для создания такого объекта. На рис. 5 представлен итеративный подход к разработке проекта, который был использован при составлении плана проведения НИОКР общей направленности

RWMD NDA, опубликованного в мае 2016 года. При этом под «НИОКР общей направленности» понимаются такие работы, для проведения которых не требуются знания по конкретной площадке, выбираемой для сооружения пункта захоронения. На рис. 6 представлено более подробное разбиение таких комплексов работ по трем верхним уровням организации. Каждый блок третьего уровня, включает целую группу задач. Всего в рамках всей программы была определена 1031 задача. По каждой такой задаче была составлена технологическая карта, содержащая информацию по следующим вопросам: подуровень комплекса работ (на рис. 6 представлены только три уровня структурирования работ, есть еще два подуровня), наименование задачи (например, факторы, которые необходимо учитывать при оценке технической осуществимости и качества изготовления контейнеров для захоронения ВАО и ОЯТ), предыстория и актуальность вопроса, обоснование необходимости проведения исследований и их задача, цели исследования, уровень технической и научной готовности к выполнению данной задачи, описание конечной точки исследований (например, подтверждение пригодности конкретной площадки), основное направление использования результатов исследования (например, разработка обоснования безопасности), источники дополнительной информации [8, 9].

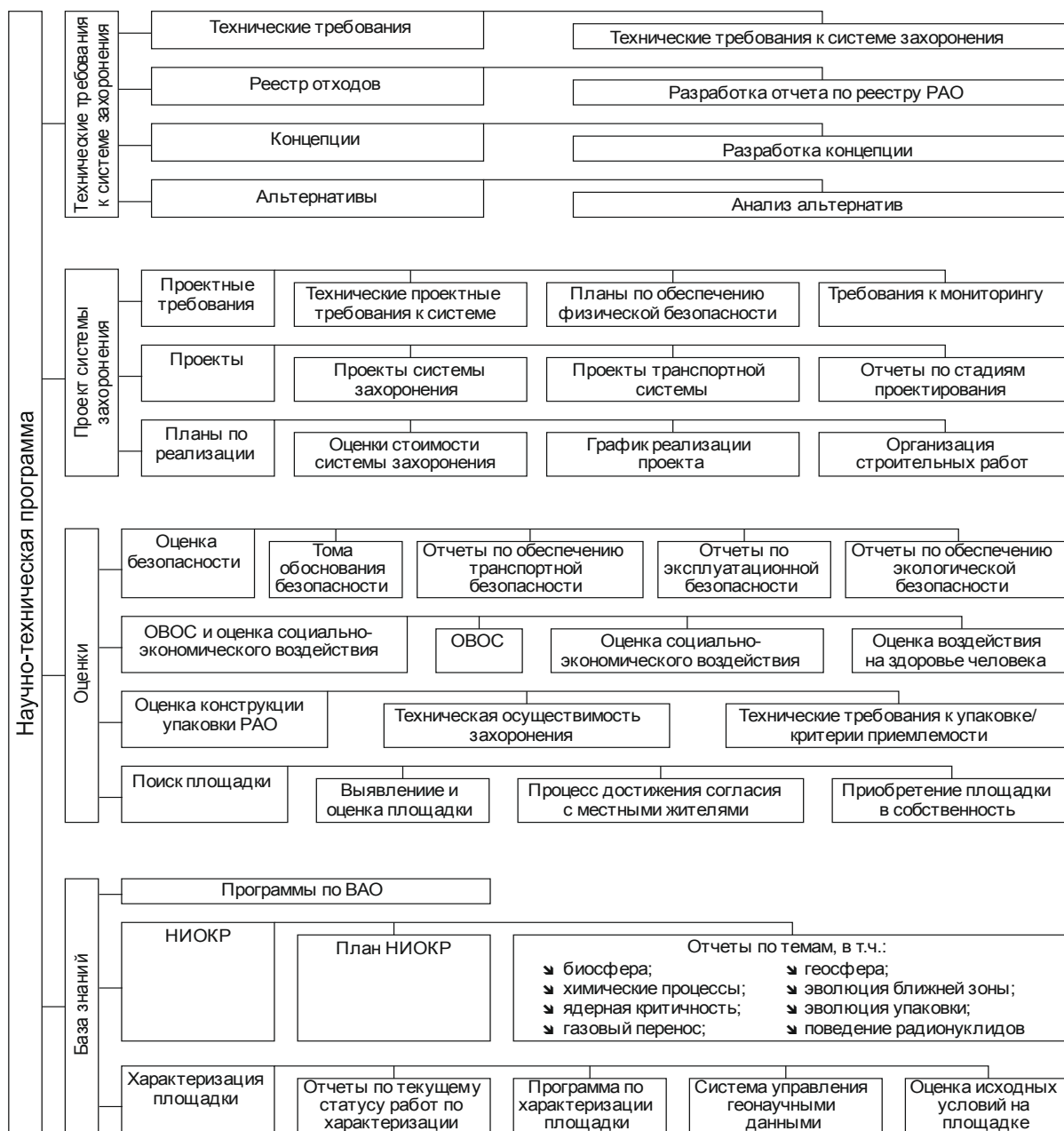


Рисунок 6 — Три верхних уровня организации НИОКР общей направленности в Великобритании

### 3 Венгрия

На данный момент венгерское агентство по обращению с РАО PURAM продолжает проведение работ в рамках первого этапа программы всеобъемлющих исследований в районе Мечекских гор, расположенных на юге страны. Исследования формаций бодских глин проводятся в этой местности еще с 1983 года. Задача текущего этапа работ к концу 2017 года обозначить внутри зоны, потенциально пригодной для сооружения пункта захоронения, участок площадью от 10 до 12 км<sup>2</sup>, который будет более подробно изучен в рамках следующих этапов исследований. По итогам второго и третьего этапов исследований будут обозначены границы будущего участка для размещения подземных и наземных установок объекта площадью от 1 до 2 км<sup>2</sup> и проведена подготовка к сооружению подземной исследовательской лаборатории. Приступить к сооружению ПИЛ планируется уже в 2030 году.

Впервые идея создания пункта геологического захоронения в глиняных формациях гор Мечек на юге Венгрии была предложена в 1983 году. В прошлом в этой местности велась добыча урановой руды, и в течение десяти лет здесь было реализовано сразу несколько исследовательских проектов, призванных выявить место, пригодное для сооружения пункта захоронения, и охарактеризовать вмещающие породы. Однако эти работы не были спланированы заранее и не способствовали всестороннему развитию научного понимания о геологической системе.

К организованным исследованиям с целью определения возможностей для размещения пункта захоронения ВАО и долгоживущих НСАО в этой местности приступили лишь в 1993 году. В 1994 году в пределах Мечекского уранового рудника был сооружен исследовательский тоннель, позволивший получить геологические данные по формациям, расположенным на глубине 1 100 м. Протяженность тоннеля составила 500 м. В 1998 году рудник был закрыт, а шахта — затоплена. Однако данные, полученные за четыре года исследований в ПИЛ, свидетельствовали о потенциальной пригодности данных вмещающих формаций — их объем, изолирующие и геотехнические характеристики позволяли рассматривать участок в качестве потенциально пригодного для строительства пункта захоронения [10].

В 1998 году правительство Венгрии учредило PURAM — Государственное агентство по обращению с РАО, на которое была возложена ответственность за обращение с любыми видами радиоактивных отходов, образующихся в Венгрии, вывод из эксплуатации ядерных установок, а также проведение всех НИОКР в данной области. В 2000 году PURAM запустило программу геологического скрининга, охватившую всю территорию страны и призванную выявить наиболее пригодные для сооружения пункта захоронения вмещающие формации. В ходе скрининга были использованы как доступные данные по геологическим формациям, так и результаты проведенных ранее исследований в ПИЛ. В итоге были выявлены 32 потенциально пригодные геологические формации, а бодские глиняные формации в районе Мечекских гор были признаны потенциально наиболее пригодными для строительства объекта. В 2004 и 2014 годах были реализованы две краткосрочные программы по характеристике данных формаций. К настоящему времени разработан график проведения работ в рамках всеобъемлющей программы по проведению НИОКР в районе Мечекских гор (рис. 7).



Рисунок 7 — График проведения исследований в Мечекских горах [10]

На сегодняшний день исследовательская программа охватывает район площадью 87 км<sup>2</sup>. На рис. 8 он находится в пределах границ, обозначенных двойной линией. Толстой серой линией отмечены границы участка площадью 37 км<sup>2</sup> — в пределах этой зоны вероятно и будет построен сам пункт захоронения. В этой зоне породы, пригодные для сооружения объекта залегают на глубине от 500 до 900 м. В ходе проводимых здесь исследований оцениваются геоморфологические риски, разрабатываются геологические пространственные модели, описывающие гидрогеологические условия, позволяющие оценить гидродинамические процессы и охарактеризовать вмещающую среду. Важной частью проводимых здесь НИОКР является бурение скважин на глубину от 800 до 1 500 м. Всего в программе работ значится бурение шести таких скважин.

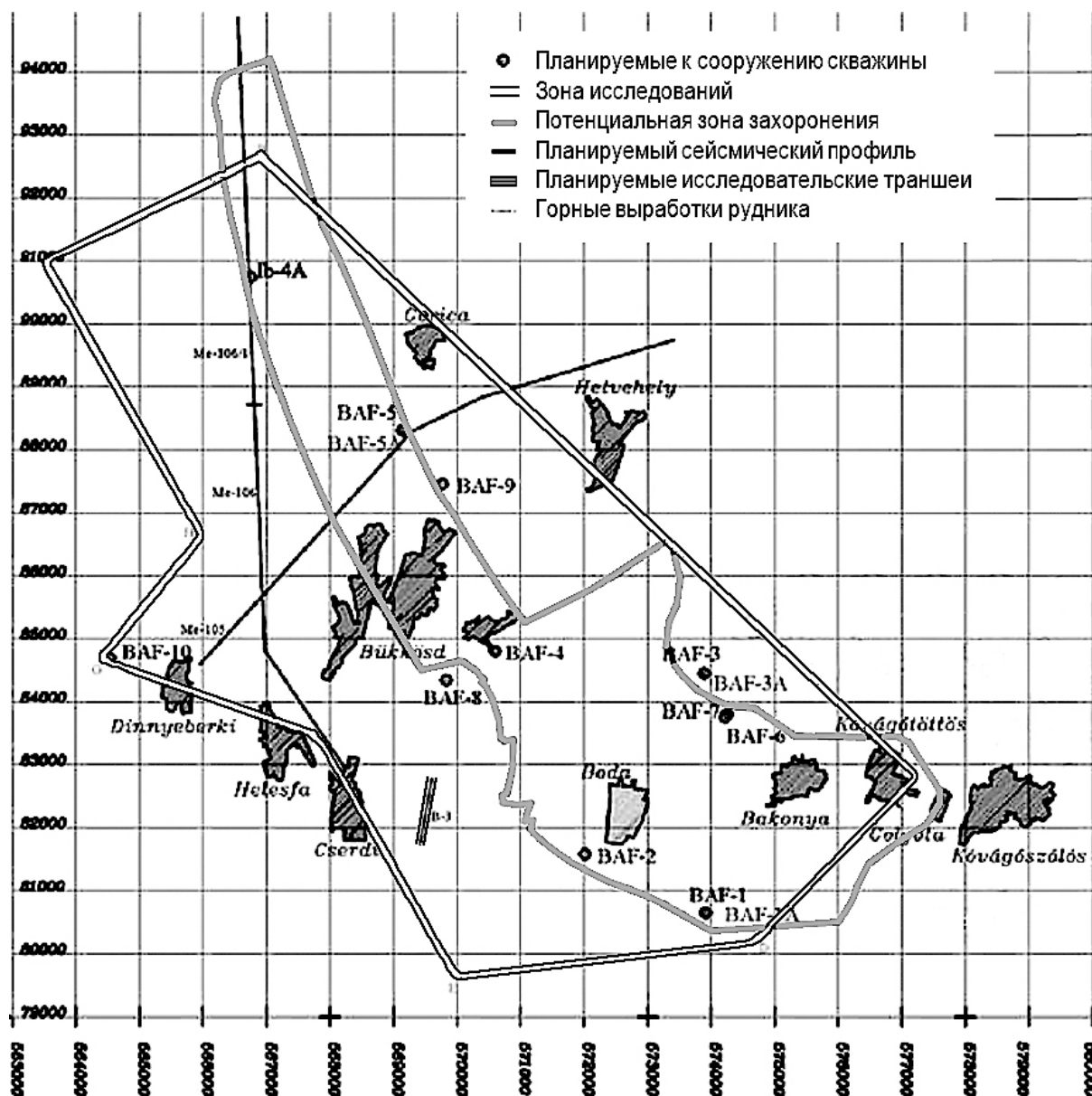


Рисунок 8 — Границы зоны проведения исследований в Мечекских горах [10]

Задача текущего этапа исследований — к концу 2017 года обозначить внутри зоны, потенциально пригодной для сооружения пункта захоронения, участок площадью от 10 до 12 км<sup>2</sup>, который будет более подробно изучен в рамках второго этапа исследований. По итогам второго этапа исследований будут обозначены границы будущего участка для размещения подземных и наземных установок объекта площадью от 1 до 2 км<sup>2</sup>. На третьем этапе исследований будут проведены обязательные работы, предваряющие сооружение подземной исследовательской лаборатории. Таким образом, в планах у PURAM завершить процедуру выбора площадки к 2030 году.

Концептуальный проект будущего пункта захоронения был разработан после завершения процедуры предварительной оценки безопасности в 2005 году. В ходе этой оценки были использованы данные, собранные до 2000 года. Результаты оценки подтвердили потенциальную пригодность рассматриваемых пород для сооружения пункта захоронения. Также в целях разработки проекта PURAM проведено работу по оценке реестра РАО, тепловой нагрузке, потенциала возникновения ядерной критичности и миграции радионуклидов и т.п.

В итоге в качестве основы для разработки проекта было решено взять шведскую концепцию KBS-3V. Завод по инкапсуляции также планируется построить в соответствии со шведским проектом. Отходы планируется захоранивать в медных канистрах, размещаемых вертикально в камерах захоронения. Система захоронения будет расположена на глубине от 500 до 800 м ниже поверхности земли. В ходе проведения строительных работ будут использованы вертикальные шахтные стволы, а проходка подземных секций будет осуществлена с применением традиционных буровзрывных технологий.

## 4 Германия

С 2013 года в Германии реализуется новая программа по поиску площадки для сооружения пункта глубинного геологического захоронения ОЯТ и ВАО:

- На данный момент на основании рекомендаций специальной рабочей группы от 2016 года вносятся поправки в Закон о процедуре поиска площадки для пункта захоронения отходов с повышенным тепловыделением, принятый в июле 2013 года.
- Согласно текущим планам площадка для сооружения пункта глубинного геологического захоронения должна быть определена к 2031 году, а захоронение первой партии отходов может состояться не раньше 2050 года.
- 30 июля 2016 года в силу вступил Закон об организационной перестройке в области обращения с радиоактивными отходами, согласно положениям которого был учрежден новый регулирующий орган (BfE) и национальный оператор по захоронению радиоактивных отходов (BGE mbH).

Вплоть до 1994 года в соответствии с положениями Закона об атомной энергии все ОЯТ, образовавшиеся в Германии подлежали переработке, затем операторы немецких АЭС были вольны выбирать между двумя альтернативами: его переработкой и прямым захоронением. Около половины объема ОЯТ в то время направлялось на переработку во Францию и Великобританию. Оставшееся в стране отработавшее топливо помещали в мокрые и сухие пункты промежуточного хранения на территории реакторных площадок. В апреле 2002 года вышел закон «Об отказе от атомной энергии», в соответствии с положениями которого с 1 июня 2005 года поставки ОЯТ за границу в целях переработки были полностью прекращены [1]. Поэтому в будущем федеральном пункте глубинного геологического захоронения планируется захоронить как ВАО и долгоживущие САО, образовавшиеся в результате переработки топлива, так и ОЯТ (табл. 2) [11]. Все эти отходы, согласно немецкой классификации относятся к категории РАО с высоким тепловыделением.

**Таблица 2. Реестр РАО и ОЯТ, подлежащих окончательной изоляции в немецком пункте глубинного геологического захоронения**

Вид РАО	Масса, т	Кол. контейнеров
ОЯТ АЭС	10 500	1 100
ОЯТ ИР	10 – 12	-
Остеклованные ВАО из Франции	3 024	100
Остеклованные САО из Франции	140	5
САО из Франции, компактированные под высоким давлением	4 104	152
Остеклованные ВАО из Великобритании	571	21
Остеклованные ВАО из Карлсруэ	140	5
ВСЕГО	7 979	291

Что касается прогресса в реализации проекта по созданию пункта глубинного геологического захоронения в Германии, то с конца 1970-х годов и вплоть до 2013 года наиболее перспективной площадкой для размещения такого объекта считался соляной купол в районе Горлебен. За несколько десятилетий на исследования данных территорий, в том числе проведение геологоразведочных работ, было потрачено свыше 1,5 млрд евро. Однако в октябре 2000 года правительство Германии наложило мораторий на проведение дальнейших исследований в Горлебене. Мораторий оставался в силе вплоть до 2009 года, затем



исследования были продолжены. Также здесь был построен опытный завод по кондиционированию отходов, а ввод в эксплуатацию самого пункта захоронения должен был состояться в 2025 году.

Однако этим планам не было суждено сбыться. Все разгорающиеся споры вокруг вопроса о пригодности размещения пункта геологического захоронения в Горлебене стали серьезным препятствием на пути реализации проекта. В результате НИОКР в Горлебене были остановлены на неопределенный срок. Также была запущена новая программа по поиску площадки для строительства объекта, в рамках которой изучается потенциал сооружения установки в трех видах геологических формаций: в глинах, кристаллических породах и соли.

27 июля 2013 года в силу вступил Закон о процедуре поиска площадки для пункта захоронения отходов с повышенным тепловыделением, согласно положениям которого решение о выборе площадке может быть принято только после достижения согласия по этому вопросу между всеми заинтересованными сторонами проекта, в том числе и широкой общественностью. Таким образом, этот закон заложил основы для реализации новой программы по поиску площадки, предполагающей всесторонние исследования и анализ достоинств и недостатков всех видов потенциально пригодных для сооружения пункта захоронения вмещающих пород и площадок. Кроме того, в соответствии с положениями закона, Парламентом страны была учреждена специальная комиссия, задача которой состояла в анализе положений закона и формировании предложений по внесению в него поправок (например, распределение зон ответственности между различными ведомствами и организациями), а также предложений, касающихся в том числе требований безопасности, критериев выбора и исключения площадок из дальнейшего рассмотрения, механизмов обеспечения участия населения в процессе выбора площадки. В июле 2016 года был опубликован итоговый отчет, содержащий рекомендации членов комиссии. После чего до 18 сентября 2016 года население страны могло ознакомиться с текстом отчета и высказать свои замечания и пожелания, которые должны быть также учтены в новой редакции данного закона [12].

Что касается обновленного графика реализации немецкого проекта по захоронению ВАО и ОЯТ, то он был представлен в рамках опубликованной в 2015 году Единой национальной программы по ответственному и безопасному обращению с ОЯТ и РАО, в которой были представлены стратегии обращения со всеми видами РАО и ОЯТ в Германии. Согласно положениям национальной программы, площадка для сооружения пункта глубинного геологического захоронения должна быть определена к 2031 году, а захоронение первой партии отходов может состояться не раньше 2050 года [11, 13].

30 июля 2016 года в силу вступил Закон об организационной перестройке в области обращения с радиоактивными отходами, согласно которому ответственность за осуществление федерального надзора и лицензирование деятельности в области использования атомной энергии, промежуточного хранения, поиска площадки для сооружения пунктов окончательной изоляции и надзора за ними была возложена на новый государственный орган — Федеральное управление по безопасному обращению с ядерными отходами (Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit, BfE). До этого эти функции выполняло Федеральное ведомство по радиационной защите (BfS). Следует отметить, что BfE, как и BfS находится в подчинении Федерального министерства окружающей среды, сохранения природы и ядерной безопасности (BMU) [14].

Также в соответствии с положениями закона был учрежден государственный национальный оператор по обращению с РАО — Федеральная компания по захоронению радиоактивных отходов (Bundesgesellschaft für Endlagerung, BGE mbH). На данную компанию была возложена ответственность за выполнение работ по поиску площадки, сооружение и эксплуатацию пунктов захоронения, а также за деятельность в шахтах Ассе II и Горлебен.

## **5 Финляндия**

Открытие пункта глубинного геологического захоронения ОЯТ в Финляндии намечено на 2023 год. За последние годы финскому национальному оператору по обращению с РАО компании Posiva Oy удалось добиться значительного прогресса в направлении создания такого объекта: в 2012 году состоялась подача заявки на получение лицензии на сооружение самого пункта захоронения и завода по инкапсуляции. В ноябре 2015 году такая лицензия была получена, но еще в течение нескольких месяцев после этого финский ядерный регулятор проводил проверку готовности Posiva к проведению строительных работ на площадке. Соответствующее разрешение было получено в ноябре 2016 года. Тогда же Posiva подписала контракт стоимостью 20 млн евро (или 21 млн долларов США) с компанией YIT Construction Limited на возведение первых секций будущего пункта захоронения. Следующим важным шагом для Posiva станет подача заявки на эксплуатацию пункта захоронения в 2020 году.

На сегодняшний день Финляндия является лидером среди всех стран мирового сообщества по срокам планируемого открытия пункта глубинного геологического захоронения ОЯТ. Более подробно об истории реализации данного проекта, запущенного еще в 1983 году, было рассказано в обзоре [1], поэтому далее остановимся лишь на главных событиях, произошедших за последние несколько лет.

В 2001 году финский Парламент ратифицировал так называемое «принципиальное решение» о сооружении пункта захоронения ОЯТ на площадке Олкилуото в муниципалитете Эурайоки, который планировалось построить в соответствии с разработанной в Швеции концепцией KBS-3. Следующим шагом стало сооружение объекта ONKALO для определения характеристик пород — подземной исследовательской лаборатории, которая в будущем станет частью самого пункта захоронения. К сооружению объекта ONKALO приступили в сентябре 2004 года.

К настоящему времени общая протяженность исследовательских галерей объекта ONKALO составляет 5 км, а глубина проведения основных работ по характеристике составляет 420 м. В 2014 году завершилась проходка шахтного ствола приточной вентиляции с уровня 290 м до 455 м. Таким образом, установка состоит из четырех основных секций: наклонного спиралевидного тоннеля доступа (1:10), демонстрационной площадки на уровне 420 м и двух зон размещения технологических установок на уровнях 437 и 455 м (рис. 9) [15].

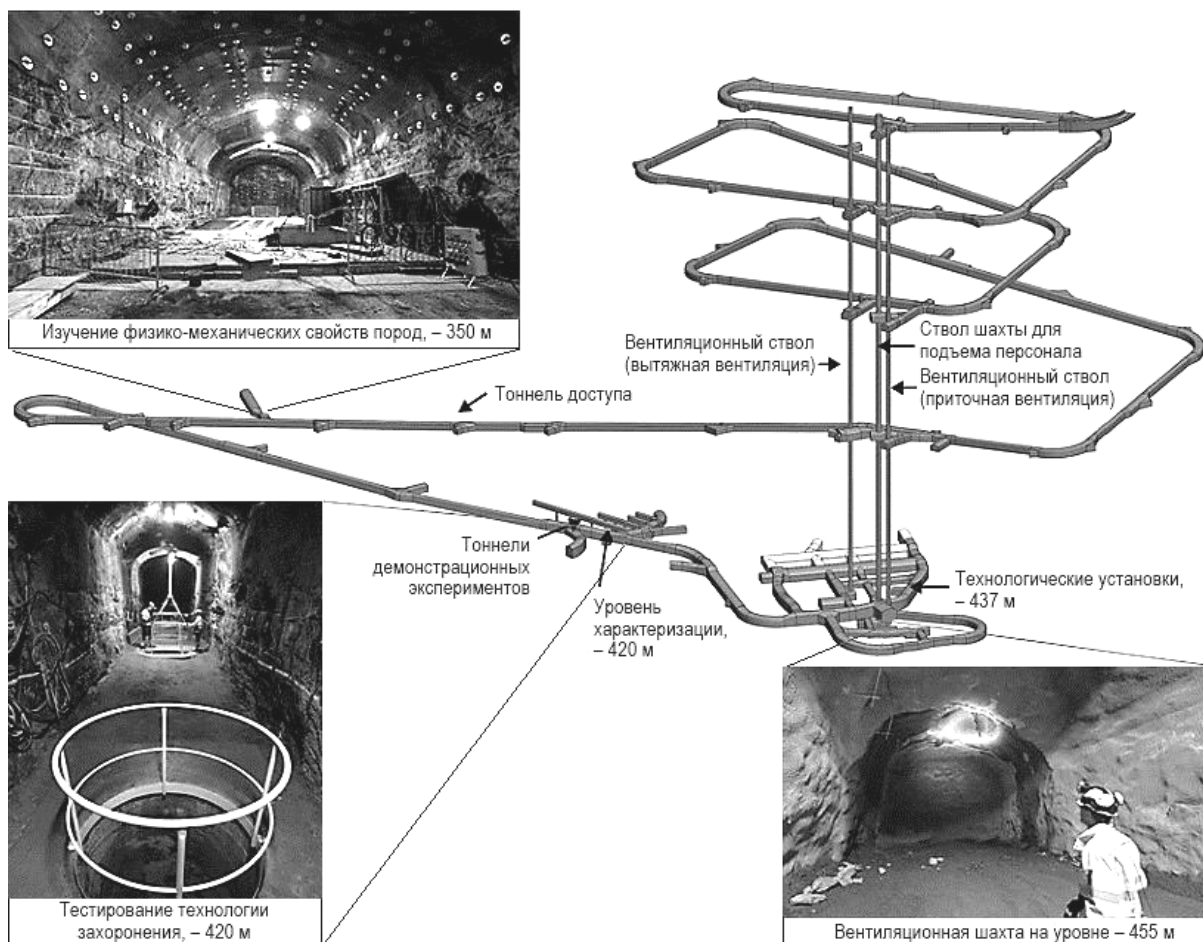


Рисунок 9 — Состояние подземных выработок объекта ONKALO по состоянию на 2016 год [15]

В декабре 2012 года компания Posiva, ответственная за реализацию проекта глубинного геологического захоронения ОЯТ в Финляндии, подала заявку на получение лицензии на строительства пункта захоронения, рассчитанного на прием 9 000 тонн ОЯТ с АЭС Олкилуото и Ловииса, а также завода по инкапсуляции. Заявка включала Предварительный отчёт по обоснованию безопасности, материалы обоснования безопасности (TURVA-2012: 11 главных отчетов, 28 отчетов по ключевым направлениям, 180 пояснительных записок), а также большое количество различных технических документов и отчетов [16–24]. Помимо этих материалов на рассмотрение регулятору были направлены отчеты Posiva по мерам обеспечения физической безопасности, аварийной готовности, ядерным гарантиям, поддержанию культуры безопасности на объекте и системе управления работами на этапе сооружения пункта захоронения.

В процессе рассмотрения заявки регулятор запросил у Posiva еще порядка 100 различных документов и отчетов.

В результате в феврале 2015 года STUK постановил, что завод по инкапсуляции ОЯТ и сам пункт захоронения могут быть сооружены с учетом всех требований обеспечения безопасности. STUK также представил перечень из 7 замечаний, часть из которых должна быть устранена Posiva до начала работ по сооружению установок, а часть либо в ходе проведения строительных работ, либо до подачи заявки на получение лицензии на эксплуатацию объектов. Затем последовала экспертиза отчета Министерством труда и экономики Финляндии. В результате в ноябре 2015 года STUK выдал компании Posiva лицензию на строительство пункта захоронения.

Тем не менее, в соответствии с положениями финского национального законодательства (Закона о ядерной энергии), даже несмотря на полученную лицензию, Posiva не могла приступить к проведению строительных работ до тех пор, пока STUK не проведет дополнительную экспертизу документации по определению степени готовности компании к началу таких работ, включающую в том числе оценку удовлетворения кадровых потребностей, системы проектного управления, системы обеспечения качества, культуры безопасности, обеспечения физической защиты и т.п. Такая проверка заняла у STUK несколько месяцев, так как по сравнению с исходными планами, представленными в заявке на получение лицензии, с 2014 года Posiva внесла некоторые значительные изменения в систему проектного управления и организации работ на площадке.

25 ноября 2016 года регулятор подтвердил готовность Posiva к началу строительных работ на площадке. 29 ноября 2016 года Posiva подписала контракт стоимостью 20 млн евро (или 21 млн долларов США) с компанией YIT Construction Limited. Контракт рассчитан на два с половиной года и включает проведение работ по проходке нескольких главных тоннелей будущего пункта захоронения, а также отходящих от них камер, предназначенных для вертикального захоронения канистр с ОЯТ. Кроме того, в рамках данного контракта будет осуществлена проходка выработки на глубине 430 м, где будет размещена станция приема отходов. К исполнению своих контрактных обязательств компания YIT Construction Limited приступила уже в декабре 2016 года [25].

Следующим важным шагом для Posiva должна стать подача заявки на эксплуатацию пункта захоронения в 2020 году, а уже в 2023 году первая партия ОЯТ должна поступить на окончательное захоронение в финской установке [15].

## 6 Франция

Среди важнейших событий, произошедших с конца 2015 года по начало 2017 года в области геологического захоронения во Франции, можно отметить следующие:

- в декабре 2015 года был запущен проект по разработке детализированного проекта объекта CIGEO\* продолжительностью два года;
- в январе 2016 года Министерство энергетики опубликовало последние результаты оценки стоимости проекта CIGEO — 25 млрд евро;
- в июле 2016 года вышел Закон об обратимости захоронения, закрепивший обязательное требование к обеспечению возможности для повторного извлечения уже захороненных отходов в течение по меньшей мере 100 лет, а также гибкости процесса принятия решений, что позволило бы будущим поколениям самостоятельно определить стратегию долгосрочного обращения с ВАО и долгоживущими САО;
- были пересмотрены планы и график работ по захоронению: внедрен этап опытной эксплуатации пункта захоронения, предусматривающий захоронение первой партии отходов в 2030 году и переход к промышленной эксплуатации объекта в 2035 году;
- Andra (Национальное агентство по обращению с радиоактивными отходами) подготовило проект стратегического мастер-плана для этапа эксплуатации объекта CIGEO: он был передан на рассмотрение регулирующему органу ASN (Управлению ядерной безопасности)<sup>†</sup>.

Если проследить за прогрессом в осуществлении проекта глубинного геологического захоронения ВАО во Франции, то очевидным становится тот факт, что его реализация идет параллельно с развитием положений национальной нормативно-правовой базы в области обращения с радиоактивными отходами. Первой такой вехой стало принятие в 1991 году закона «О научных исследованиях и разработках в области обращения с РАО», утвердившего несколько неотъемлемых условий реализации программы захоро-

---

\* Название французского проекта по глубинному геологическому захоронению ВАО и долгоживущих САО

<sup>†</sup> данный документ будет позднее опубликован в рамках очередного этапа общественных слушаний по проекту CIGEO

нения ВАО во Франции. Так, в соответствии с его положениями, была определена однозначная процедура принятия решений по политике долгосрочного обращения с РАО, предполагающая обязательное проведение НИОКР в течение не менее 15 лет до момента ее окончательного утверждения, создан специальный государственный орган, которому было поручено заниматься всеми вопросами по обращению с РАО (ANDRA), внедрены механизмы взаимодействия с местным населением в регионах, участвующих в процессе выбора площадки для строительства пункта захоронения (общественные слушания, создание информационных комитетов и финансирование их деятельности, предоставление финансового обеспечения участвующим в процессе выбора площадки муниципалитетам, программы информирования местных жителей и т.п.) [1].

Второй важной вехой стало принятие в 2006 году закона о планировании, согласно положениям которого концепция глубинного геологического захоронения ВАО и долгоживущих САО была утверждена в качестве официальной стратегии обеспечения долгосрочной безопасности обращения с этими видами отходов. Так же в законе были прописаны ключевые этапы реализации данной программы: подача лицензии на рассмотрение регулирующему органу в 2015 году и начало захоронения отходов — в 2025 году\*. Еще одним ключевым положением закона 2006 года стало требование к обеспечению возможности повторного извлечения отходов (англ. retrievability) в течение, по меньшей мере, 100 лет с момента их захоронения, а также «обратимости» (англ. reversibility) принимаемых по проекту решений. Понятие «обратимости захоронения» было впервые формально определено по итогам общественных слушаний по проекту геологического захоронения, прошедших в 2013 году: захоронение считается обратимым в том случае, если будущие поколения могут самостоятельно выбирать между несколькими альтернативными вариантами организации долгосрочного обращения с РАО, в том числе герметизацией системы захоронения или извлечением захороненных отходов. Этот принцип может быть реализован в том числе и благодаря постепенной разработке и совершенствованию проекта пункта захоронения с обеспечением гибкости процесса принятия решений [26].

Требование к обеспечению гибкости процесса принятия решения и их обратимости было официально закреплено в соответствующем законе, принятом в июле 2016 года. В соответствии с положениями этого закона под «обратимостью» понимается обеспечение возможности для будущих поколений самостоятельно выбрать между двумя альтернативами: продолжить сооружение пункта захоронения и осуществлять его эксплуатацию либо пересмотреть решения, принятые в прошлом, и разработать иные технологии и методы обращения с РАО. Для обеспечения условия «обратимости» в случае реализации проекта CIGEO необходимо использовать следующие основные средства [27, 28]:

- постоянное пополнение знаний;
- обеспечение прозрачности процесса принятия решений и возможности для передачи информации и знаний по проекту;
- контроль и мониторинг со стороны уполномоченного регулирующего органа (ASN);
- участие в проекте широкой общественности;
- надзор и контроль со стороны Парламента;
- поэтапная разработка проекта и поэтапность сооружения объекта (рис. 10);
- обеспечение гибкости процесса принятия решений на этапе эксплуатации;
- обеспечение возможности для повторного извлечения захороненных отходов.

Таким образом, ANDRA стремится предоставить будущим поколениям максимальное пространство для маневров, чтобы в будущем они смогли самостоятельно выбирать между различными вариантами организации обращения с ВАО и долгоживущими САО в соответствии с новыми научно-техническими достижениями и эволюцией знаний по проекту. Действительно, согласно текущим планам, общая продолжительность проекта составит не менее 120 лет, а значит, в процессе принятия решений будет участвовать, по меньшей мере, 4 поколения.

Во Франции, как и в большинстве стран, лидирующих по темпам реализации проектов геологического захоронения, вопросу взаимодействия с широкой общественностью и местными жителями региона, выбранного для сооружения установки, всегда уделялось первостепенное внимание. В 2005 и 2013 годах принятию важнейших решений по проекту предшествовали масштабные общественные слушания. По итогам второго этапа общественных слушаний в 2016 году в программу захоронения было внесено четыре ключевых изменения [29]:

- стадия опытного захоронения должна предшествовать этапу промышленной эксплуатации объекта;

---

\* К этому моменту ANDRA уже опубликовало предварительный отчет по обоснованию безопасности (Dossier 2005 Argile), была определена зона площадью 250 км<sup>2</sup>, в пределах которой в будущем планировалось разместить подземные и наземные установки пункта захоронения, в ПИЛ конкретного назначения, расположенной внутри этой зоны уже проводились исследования.

- обязательная разработка стратегического мастер-плана для этапа эксплуатации пункта захоронения ВАО и долгоживущих САО, который бы пересматривался на регулярной основе и подлежал бы одобрению со стороны правительства;
- проект предварительного мастер-плана должен быть вынесен на общественные слушания;
- внесение изменений в график осуществления программы захоронения, утвержденной законом 2006 года (рис. 11).

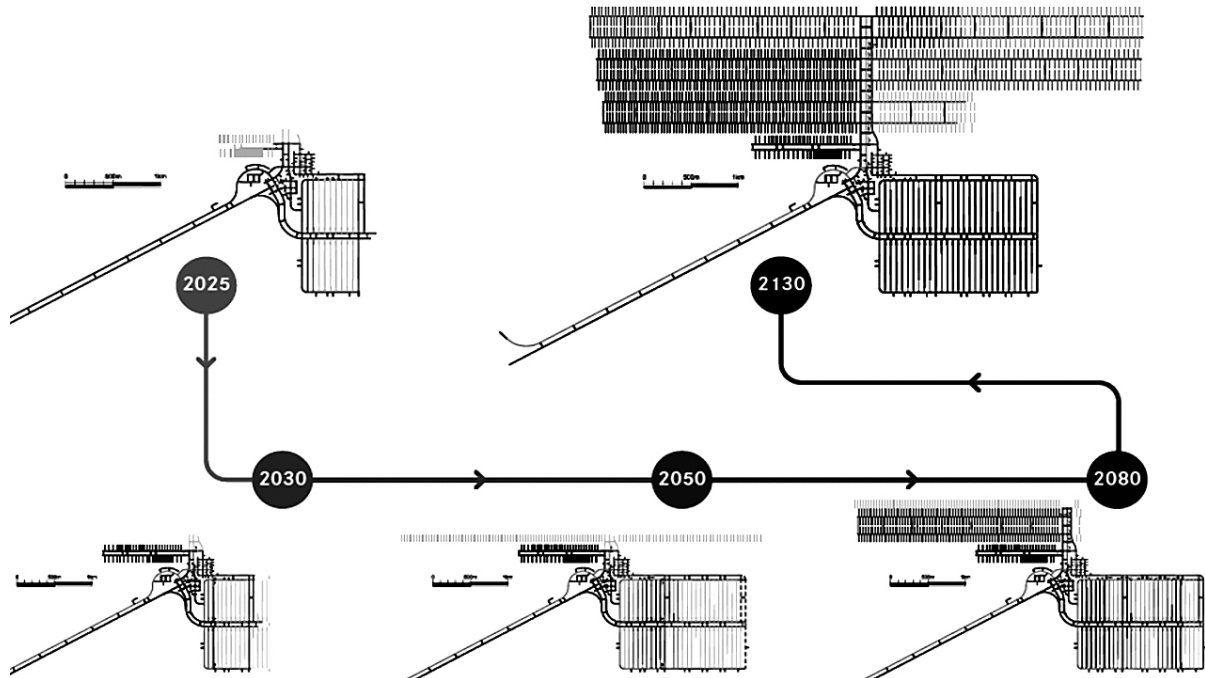


Рисунок 10 — Этапы сооружения пункта захоронения CIGEO [30]

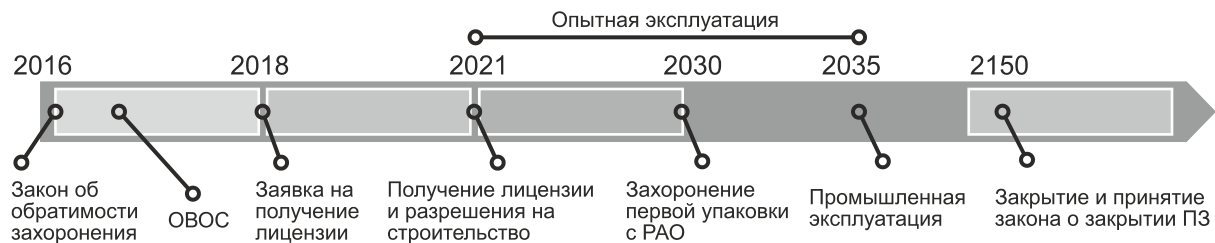


Рисунок 11 — Обновленный график реализации программы захоронения во Франции [28]

В соответствии с приведенными выше поправками, внесенными в программу захоронения, в апреле 2016 года Andra направило на рассмотрение ASN три документа. Одним из них стал проект стратегического мастер-плана, который затем будет вынесен на общественные слушания. Кроме того, ASN были переданы два технических документа: «Возможности обеспечения безопасности» (англ. «Safety Options Report») и «Технические возможности обеспечения повторного извлечения РАО» (англ. «Technical Retrievability Options Report»). Таким образом, в преддверии подачи заявки на получение лицензии в 2018 году Andra получило возможность получить совет от регулирующего органа по подготовке такой заявки. ASN в свою очередь организовало независимую экспертизу отчета «Возможности обеспечения безопасности» с привлечением специалистов из МАГАТЭ. В данном отчете были освещены четыре основных вопроса: процедура лицензирования и взаимодействия оператора и регулятора; стратегии организации НИОКР и получения новых знаний; методология разработки сценариев для оценки безопасности на этапе после закрытия пункта захоронения; изменения, внесенные в проект после аварии на АЭС Фукусима.

В целом эксперты МАГАТЭ достаточно высоко оценили материалы отчета, подготовленного Andra. Среди замечаний, сделанных экспертами, можно выделить несколько ключевых [31]:

- обеспечить взаимодействие оператора пункта захоронения (Andra) с производителями отходов в целях оптимизации практик захоронения РАО и обращения с ними на этапах, предшествующих их захоронению;
- разработать определенную стратегию, которая позволила бы не только сохранить все сведения и информацию, важную с точки зрения обеспечения безопасности как на этапе эксплуатации пункта захоронения, так и на этапе после его закрытия, но и обеспечить их регулярное обновление и правильное толкование;
- уточнить информацию по включенным Andra в обновленный план НИОКР, осуществив приоритизацию включенных в него работ, оговорив их масштабы, а также связь между конкретными НИОКР и соответствующим этапом программы;
- обосновать, почему в рамках сценария нормальной эволюции пункта захоронения не был рассмотрен случай нарушения герметичности канистры с ВАО на раннем этапе захоронения, а также случай захоронения изначально поврежденной канистры с ВАО.

Еще одним важным событием, произошедшим в 2016 году в области геологического захоронения ВАО во Франции, стало появление в открытом доступе конфиденциальных сведений по результатам последнего исследования оценки стоимости проекта CIGEO, подготовленных ANDRA для Министерства экологии Франции еще в 2014 году. Общие затраты на реализацию проекта тогда были оценены в 34,4 млрд евро (по курсу 2012 года), из которых 19,8 млрд евро — затраты на проведение строительных работ, 8,8 млрд евро — расходы на эксплуатацию установки на протяжении более 100 лет, а еще 4,1 млрд евро должно уйти на уплату налогов. Следует отметить, что подобные исследования проводились ANDRA и в прошлом: в 2005 году проект оценивался в 13,5 – 16,5 млрд евро, а в 2009 году — в 36 млрд евро [32].

Вслед за публикацией данных материалов EDF, Areva и CEA — компании, эксплуатирующие установки, являющиеся источником образования подавляющего объема отходов, подлежащих захоронению в объекте CIGEO, заявили, что опубликованные цифры являются чрезмерно завышенными и не учитывают возможностей для внедрения инновационных технологий и оптимизации на всем протяжении эксплуатации объекта. По их мнению, стоимость проекта не должна превысить 20 млрд евро [32].

Спустя некоторое время ядерный регулятор ASN выступил с официальным заявлением о том, что стоимость проекта CIGEO может превысить заявленные ANDRA 34,4 млрд евро в виду чрезмерной оптимистичности гипотез, выдвигаемых Агентством в отношении различных технических и экономических вопросов. Кроме того, по мнению ASN, объем отходов, подлежащих окончательной изоляции в CIGEO может вырасти в том случае, если Франция откажется от переработки ОЯТ [32].

Точку в этой дискуссии поставил Министр энергетики Франции, опубликовав окончательное решение о «референтной стоимости проекта CIGEO», которая должна составить 25 млрд евро (27 млрд долларов США). Кроме того, было заявлено, что данные о референтной стоимости будут корректироваться на каждом этапе проекта [33].

## 7 Швейцария

В Швейцарии реализуется сразу два проекта в области глубинного геологического захоронения: один по окончательной изоляции ВАО и ОЯТ, второй — по изоляции НАО и САО (рис. 12). В 2015 году национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами (Nagra) направил регулирующему органу предложение по двум регионам-кандидатам, которые были выбраны в качестве наиболее предпочтительных на втором этапе кампании по поиску площадки, стартовавшей в 2012 году. Свое решение регулятор планирует огласить в 2018 году, после чего в данных регионах будут проведены более детальные полевые исследования.

Работы по поиску площадки для строительства пункта захоронения НАО и САО были начаты еще в 1978 году, однако к 1993 году из-за недовольства местных жителей выбранную в итоге площадку так и не удалось утвердить.

В 2008 году правительством страны была одобрена отраслевая программа по поиску площадки для захоронения двух видов отходов, состоящая из трех основных этапов и обеспечивающая привлечение к данному процессу всех заинтересованных сторон, прозрачность и справедливость всей процедуры принятия решений по проекту [1].

Первый этап исследований (2008 – 2011 гг.) позволил составить перечень регионов, потенциально пригодных для сооружения двух пунктов захоронения по геологическим характеристикам.

На втором этапе, стартовавшем в 2012 году, количество потенциальных регионов должно было сократиться до двух для каждого типа пункта захоронения. Решение принималось с учетом результатов предварительных оценок безопасности и сопоставления площадок по различным критериям, связанным с обеспечением безопасности захоронения (табл. 3), а также на основании результатов анализа социально-

экономических факторов, кампании по привлечению общественности к процессу принятия решений, задача которой состояла в том, чтобы интересы, потребности и ценности местного населения были максимально учтены при принятии решений по вопросу о месте строительства установки и планировании промышленной площадки. В итоге в 2015 году национальный оператор по обращению с РАО (Nagra) направил регулятору (SFOE\*) предложение по двум регионам: Jura Ost и Zürich Nordost [34].

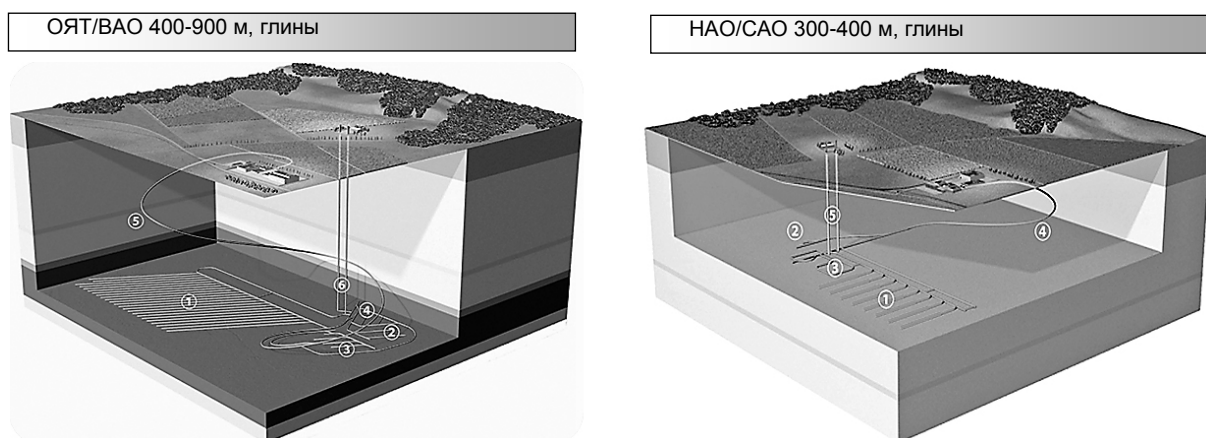


Рисунок 12 — Проекты по глубинному геологическому захоронению ОЯТ и РАО, реализуемые в Швейцарии

Таблица 3. Сравнение регионов-кандидатов по критериям обеспечения безопасности [35]

Характеристики и показатели важные с точки зрения принятия решений по выбору площадки	Пункт захоронения ВАО			Пункт захоронения НСАО					
	Zürich Nordost	Nördlich Lägern	Jura Ost	Südranden	Zürich Nordost	Nördlich Lägern	Jura Ost	Jura-Südfuss	Wellenberg
<b>Эффективность геологического барьера</b>	++	++	++	++	++	++	++	++	+
Коэффициент фильтрации	++	++	++	++	++	++	++	++	+
Характер путей миграции и структура порового пространства	++	++	++	++	++	++	++	++	+
Коэффициент проводимости для путей предпочтительного переноса веществ	++	++	++	++	++	++	++	++	+
Способность к самовосстановлению	++	++	++	++	++	++	++	++	±
Однородность структуры горных пород	++	++	++	++	++	++	++	++	±
Толщина	++	++	+	+	++	++	+	±	++
Протяженность критических путей миграции	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Коллоиды	++	++	++	++	++	++	++	++	±
<b>Долгосрочная стабильность геологического барьера</b>	+	+	+	±	+	+	+	+	±
Концептуальные модели долгосрочной эволюции (геодинамика, неотектоника, другие процессы)	++	+	+	±	++	++	++	+	±
Способность к самовосстановлению	++	++	++	++	++	++	++	++	±
Вероятность формирования новых путей перемещения потоков воды	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Эрозия в течение рассматриваемого периода	++	++	++	++	++	++	++	++	+
Глубина ниже локального базиса эрозии (важно с точки зрения формирования новых дренажных каналов в краевой ледниковой зоне)	++	++	+	+	++	++	++	++	++
Глубина ниже рассматриваемой группы пластов (важно с точки зрения возможного разуплотнения пород)	++	++	+	±	++	++	++	++	++

\* Федеральное энергетическое управление Швейцарии

Глубина ниже верхнего слоя пород (важно с точки зрения ледникового переуглубления)	+	++	++	±	++	++	++	++	++
Уровень сейсмичности	+	+	+	+	+	+	+	+	±
<b>Возможность проведения исследований и удобство определения характеристик геологического барьера в рассматриваемом регионе</b>	++	++	++	++	++	++	++	++	±
Изменчивость свойств пород (определяет, насколько удобно и легко можно выполнить работы по характеристике)	++	++	++	++	++	++	++	++	±
Условия проведения исследований под землей	++	++	++	++	++	++	++	++	–
<b>Возможность технической реализации</b>	+	–	+	+	+	–	+	±	±
Соотношение глубины и возможностей для технической реализации (с учетом прочности горной породы и ее деформационных свойств)	+	±	++	++	+	–	+	+	±
Геотехнические и гидрогеологические условия в лежащих выше горных формациях	+	+	++	+	+	+	++	±	++
Достаточность пространства под землей для размещения объекта	+	–	+	+	++	–	++	+	+

Уровень пригодности: ++Очень высокий +Высокий ±Ограниченная пригодность –Наименьшая пригодность

На данный момент SFOE продолжает рассмотрение материалов, полученных от Nagra. Окончательное решение регулятор планирует принять в 2018 году, после чего стартует третий этап отраслевой программы [35].

Данный этап позволит более детально исследовать предложенные Nagra районы и предполагает проведение трехмерной сейсморазведки, бурение скважин и проведение испытаний. Одновременно продолжатся и теоретические геонаучные исследования, направленные на изучение распределения фаций осадочных пород во вмещающих формациях, их долгосрочной геологической эволюции (неотектоника, эрозия) и гидрогеологических особенностей.

Ожидается, что решение Федерального Совета о выдаче генеральной лицензии на сооружение двух пунктов захоронения или возможно одного совмещенного будет получено не раньше 2027 года. Затем решение Федерального Совета рассмотрит Парламент страны, чему может предшествовать общенациональный референдум. В случае положительного решения Парламента. На рис. 13 представлен приблизительный график реализации данной программы при условии получения положительного решения Парламента о выдаче генеральной лицензии на пункты захоронения.

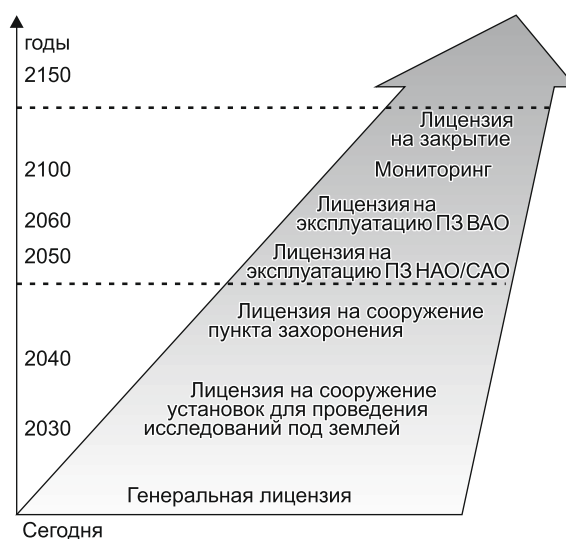


Рисунок 13 — График реализации швейцарской программы глубинного геологического захоронения

## 8 Швеция

На данный момент в Швеции завершается процедура получения лицензии на строительство установки для захоронения ОЯТ. Соответствующая заявка была подана компанией SKB в 2011 году. Система лицензирования ядерных установок предполагает рассмотрение заявки как с позиций ядерной безопасности Управлением по ядерной безопасности (его положительное заключение было получено летом 2016 года), так и с позиций охраны окружающей среды. Заключительные слушания Суда по вопросам защиты окружающей среды должны состояться в сентябре 2017 года, а при одобрении данного решения правительством страны в 2018 году SKB планирует приступить к сооружению пункта захоронения ОЯТ уже в 2020 году.

Впервые исследования геологических формаций с целью поиска подходящей площадки для сооружения пункта захоронения были инициированы в Швеции еще в 1975 году и охватили 17 регионов, распо-



ложенных в разных частях страны. В ходе первого этапа (с 1976 по 1983 гг.) было отобрано 8 площадок для дальнейшего проведения более детальных исследований вмещающих пород, совмещенных с НИОКР в ПИЛ. Так, в шахте Стрипа в Бергслагене с 1976 по 1992 гг. проводилась разработка методов исследования и характеристики вмещающих пород, изучении термомеханических свойств массива горных пород, функций, выполняемых бентонитовым буфером, заглушками скважин и тоннелей. С 1995 года в ПИЛ Аспё на глубине 500 м проводились исследования геологических формаций, результаты которых подтвердили приемлемость геологических характеристик влажных гранитов для сооружения пункта глубинного захоронения [1].

В 2009 году была определена площадка\* для строительства пункта захоронения ОЯТ в соответствии с разработанной SKB концепцией KBS-3. Известно, что планируемая вместимость пункта захоронения составит 12 000 т ОЯТ, а располагаться он будет на глубине 500 м в гранитах возрастом 1,9 млрд лет. Согласно концепции захоронения KBS-3 (рис. 14), в тоннелях общей протяженностью 60 км и площадью около 4 км<sup>2</sup> будет размещено 6 000 канистр с ОЯТ. Каждая 25-тонная канистра, выполненная из чугуна и меди, рассчитана на 2 тонны ОЯТ. Бентонитовые глины, окружающие канистры, задержат миграцию радионуклидов при разгерметизации канистр [36].

В марте 2011 года компания SKB подала заявку на строительство пункта захоронения в муниципалитете Эстхаммар и завода по инкапсуляции ОЯТ. В Швеции имеется достаточно сложная система лицензирования ядерных установок. Так, шведская система лицензирования предполагает рассмотрение заявки как с позиций ядерной безопасности Управлением по ядерной безопасности (SSM), так и с позиций охраны окружающей среды (рис. 15).

В течение следующих трех лет SSM продолжало запрашивать недостающую для оценки безопасности информацию и документы. Наконец, в 2015 году шведский регулятор объявил о том, что работа SKB над заявкой, направленной SSM для получения лицензии на сооружение пункта окончательной изоляции ОЯТ и завода по инкапсуляции, может считаться завершённой, и в предоставленных SKB материалах отражена вся необходимая информация.

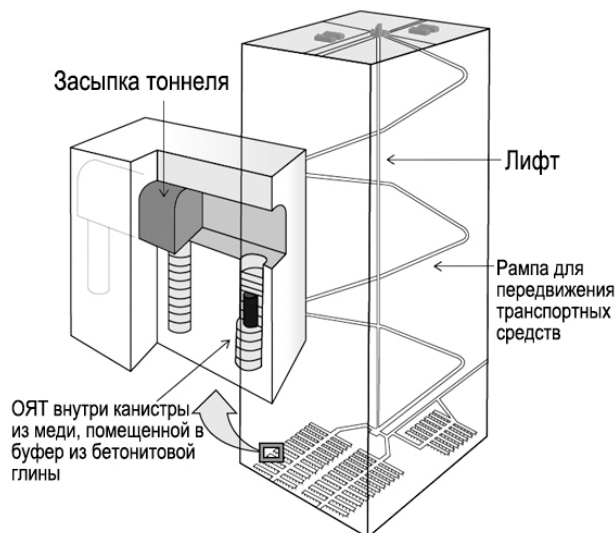


Рисунок 14 — Концепция KBS-3 [1]

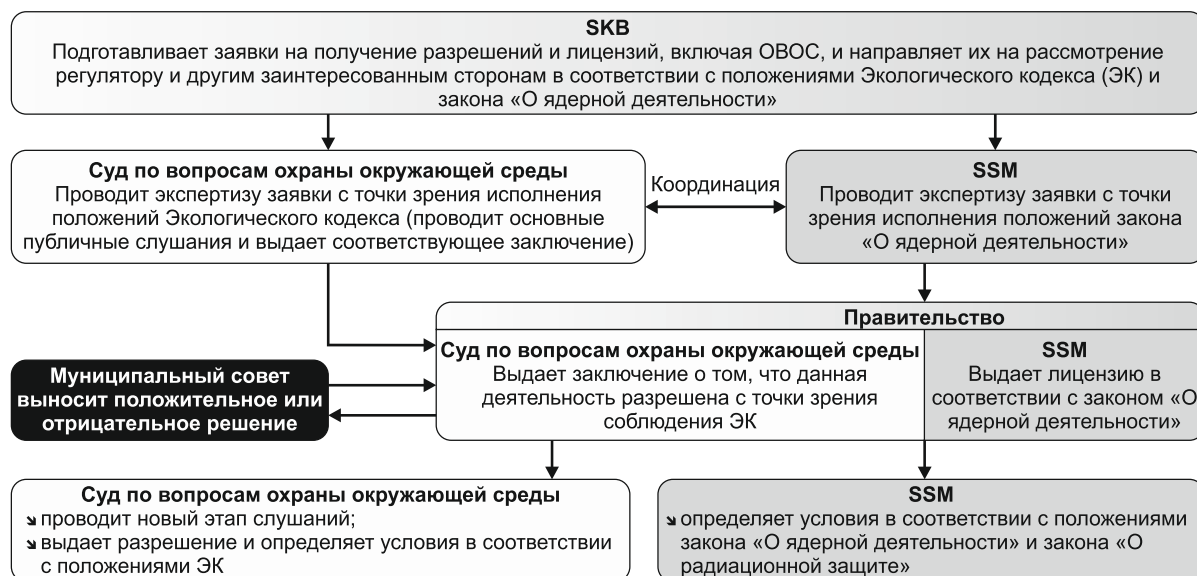


Рисунок 15 — Процедура лицензирования ядерных установок в Швеции [1]

\* площадка расположена в муниципалитете Эстхаммар, приблизительно в 170 км от Стокгольма

Уже осенью 2015 года SSM официально объявило о том, что по результатам предварительной оценки, выбранная при поддержке около 77% местного населения SKB площадка для строительства пункта окончательной изоляции 12 000 тонн ОЯТ является самым подходящим местом для размещения подобного объекта с точки зрения геологических условий (малая трещиноватость гранитных вмещающих пород в сочетании с низкой скоростью движения грунтовых вод) [37]. Аналогичное заявление было сделано и по поводу строительства завода по инкапсуляции ОЯТ в марте 2016 года: согласно предварительным результатам анализа заявки на получение лицензии на строительство и эксплуатацию завода по инкапсуляции ОЯТ (который в совокупности с пунктом промежуточного хранения ОЯТ Slab получил название CLINK), объект потенциально удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым регулятором в области обеспечения ядерной безопасности и радиационной защиты [38].

В январе 2016 года к рассмотрению заявки SKB приступил Суд по вопросам охраны окружающей среды, а в июне 2016 года SSM направило в Суд свое положительное решение по проектам сооружения пункта захоронения и завода по инкапсуляции. Заключительные слушания по этому вопросу должны состояться в сентябре 2017 года. При соблюдении этого графика и получении резолюции правительства Швеции в 2018 году, SKB планирует уже в 2020 году приступить к сооружению пункта захоронения, а захоронение первой партии ОЯТ в установке намечено на начало 2030-х годов. [39].

## Заключение

Как видно из представленного обзора, по темпам реализации проектов глубинного геологического захоронения ОЯТ и долгоживущих РАО среди европейских стран отчетливо выделяются три основных лидера: Финляндия, Швеция и Франция. Причем Финляндия уже приступила к сооружению ПЗРО и планирует начать его промышленную эксплуатацию в 2023 году. В Швеции и Франции работы по захоронению ОЯТ и РАО стартуют в 2030-х годах. Бельгия, Венгрия и Швейцария находятся на этапе выбора и утверждения площадок для строительства ПЗРО. Великобритания и Германия значительно отстают от лидеров, и несмотря на то, что работы по поиску площадок для размещения ПЗРО стартовали более 30 лет назад, к настоящему времени в этих странах не определено ни одной потенциальной площадкой-кандидата для строительства объекта, что по большей части связано с негативным отношением местного населения и широкой общественности к подобным проектам.

Стоит отметить, что, в целом, проблема противодействия общественности актуальна не только при реализации программ по строительству пунктов глубинного геологического захоронения САО, ВАО и ОЯТ, но и пунктов приповерхностного захоронения НАО и ОНАО. Для специалистов сооружение ПЗРО НАО и ОНАО не является такой уж сложной задачей с точки зрения проектирования: тщательно проработанные технологические решения позволяют обеспечить высокий уровень ядерной и радиационной безопасности, управление проектом не представляет особых трудностей, а радиологическое воздействие таких установок на персонал, население и окружающую среду ограничено. Тем не менее, в представлении среднестатистического обывателя любая ядерная установка, включая пункты захоронения ОНАО, ассоциируется с чем-то невероятно опасным, способным оказать значительное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Так почему же представления экспертов и обычных людей так различаются? Во-первых, за годы существования атомной энергетики в обществе в целом развилась тенденция к завышению реального уровня опасности, исходящего от ядерных установок. С одной стороны, это можно объяснить тем, что ядерные технологии изначально разрабатывались в военных целях в обстановке строжайшей секретности. Людям до сих пор кажется, что от них что-то скрывают и что-то умалчивают. Все это в значительной степени повлияло на формирование недоверия со стороны общественности. Кроме того, вопросы обеспечения безопасности на ядерных установках чрезвычайно сложны для понимания обывателя, что затрудняет проведение конструктивного диалога с общественностью.

Так, на достижение взаимопонимания могут уйти годы, ведь, для местных жителей проект пункта захоронения не просто техническая концепция — это реальность, с которой придется жить им и их потомкам. Поэтому важно, чтобы они заручились достаточной степенью уверенности в том, что барьеры безопасности обеспечат удержание захороненных отходов и их целостность не будет нарушена в течение длительного периода времени. Для этого специалисты должны суметь наглядно и доступно объяснить и продемонстрировать, что в оценке безопасности объекта нашли отражение наиболее передовые практики и технологии, а также что современный уровень знаний в данной области позволяет обеспечить адекватный уровень безопасности установки в долгосрочной перспективе.

Между тем проблема обеспечения общественной приемлемости проектов создания пунктов глубинного геологического захоронения ОЯТ и РАО становится еще актуальнее и сложнее, когда речь заходит о возможности создания региональных пунктов захоронения в Европе — т.е. сооружения одного объекта, способного принимать на захоронение РАО из нескольких стран, расположенных в одном географическом

ческом регионе (Европа). Такой подход на протяжении нескольких лет рассматривают в качестве наиболее очевидной перспективы обеспечения долгосрочной безопасности ОЯТ и долгоживущих РАО для стран, реализующих сравнительно небольшие ядерные программы.

Впервые предметно об идее создания совместного пункта окончательной изоляции РАО в Европе заговорили в конце 1990-х годов. В 2002 году организациями атомно-энергетического комплекса пяти стран (Бельгия (ONDRAF/NIRAS), Болгария (АЭС Козлодуй), Венгрия (PURAM), Япония (Obayashi Corporation) и Швейцария (Colenco Power Engineering)) была учреждена некоммерческая Ассоциация по региональному и международному подземному хранению Agius (Association for Regional and International Underground Storage) со штаб-квартирой в Бадене (Швейцария). Вскоре к Agius присоединились Голландия и Словакия. Основной целью работы Agius стало оказание содействия в разработке и продвижении концепции создания совместных (региональных и многонациональных) пунктов хранения и захоронения долгоживущих радиоактивных отходов, образовавшихся в тех странах, которые либо не желают, либо не могут создать собственные пункты хранения и захоронения в виду ограниченности имеющихся ресурсов.

Изучением перспектив создания регионального пункта глубинного геологического захоронения в Европе занялась Европейская организация по разработке совместного проекта захоронения (ERDO), учрежденная в 2009 году и на сегодняшний день объединяющая 10 стран данного региона: Австрия, Ирландия, Нидерланды, Польша, Словакия, Болгария, Италия, Литва, Румыния, Словения. За последние годы эксперты рабочей группы ERDO — WG провели целую серию встреч, в ходе которых обсуждались как положительные, так и отрицательные стороны реализации подобного проекта, а также возможные перспективы организации работ. Тем не менее, никаких практических шагов предпринято так и не было, так как ни одна из стран не выступила с инициативой размещения ПЗРО на своих территориях. Еще одно препятствие — определенные ограничения, накладываемые законодательством некоторых стран в области захоронения отходов, импортированных из-за границы. Поэтому несмотря на целый ряд очевидных преимуществ как с точки зрения финансирования, так и обеспечения ядерной и радиационной безопасности и соблюдения ядерных гарантий, перспективы скорой реализации подобного проекта в Европе достаточно туманны.

## Литература

1. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО, Н.С. Цебаковская, С.С. Уткин, И.В. Капырин и др. – М.: Изд-во «Комтехпринт», 2015, 208 с.
2. National Programme for the Management of Spent Fuel and Radioactive Waste, Document Drafted by the National Committee Pursuant to the Law of 3 June 2014 Transposing European Directive 2011/70/Euratom of 19 July 2011, 1st edition, October 2015.
3. Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No GSG – 1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2009.
4. Multiple Challenges: Nuclear Waste Governance in the United Kingdom, Gordon Mac Kerron, Nuclear Waste Governance, an International Comparison, eds. Achim Brunnengraber, Maria Rosaria Di Nucci et al., Springer, Fachmedien Wiesbaden, 2015.
5. Managing Radioactive Waste Safely – A Framework for Implementing Geological Disposal, Department of Energy and Climate Change, June 2008.
6. Implementing Geological Disposal, A Framework for the long-term management of higher activity radioactive waste, URN 14D/235, Department of Energy and Climate Change, July 2014.
7. Implementing Geological Disposal: Providing Information on Geology: National Geological Screening Guidance, Radioactive Waste Management, April 2016.
8. Geological Disposal, Science and Technology Plan, Radioactive Waste Management, NDA Report no. NDA/RWM/121, May 2016.
9. The Status of Geological Disposal in the United Kingdom, Cherry Tweed FGS, Workshop on the Fifth Worldwide Review “Challenging Issues in Deep Geologic Disposal of Nuclear Wastes”, Fifth Worldwide Review — 2016.
10. Current Status of Geological Disposal Projects in Hungary, A. Baksay, K. Benedek, B. Molnár, P. Molnár, B. Nős and Gy. Tungli, Workshop on the Fifth Worldwide Review “Challenging Issues in Deep Geologic Disposal of Nuclear Wastes”, Fifth Worldwide Review — 2016.
11. Current Status of Geological Disposal Projects in Germany, Volkmar Bräuer, Workshop on the Fifth Worldwide Review “Challenging Issues in Deep Geologic Disposal of Nuclear Wastes”, Fifth Worldwide Review — 2016.
12. Nuclear Regulatory Issues and Main Developments in Germany, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, Federal Office for the Safety of Nuclear Waste Management, 31 October 2016.

13. Programme for the Responsible and Safe Management of Spent Fuel and Radioactive Waste – National Programme, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, Draft of 6 January 2015.
14. Repository searching Germany, по материалам сайта <http://www.bfs.de>, заглавие с экрана, язык: английский.
15. Towards Implementation Of The Spent Nuclear Fuel Repository In Finland, Mari Lahti, Workshop on the Fifth Worldwide Review “Challenging Issues in Deep Geologic Disposal of Nuclear Wastes”, Fifth Worldwide Review — 2016.
16. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Design Basis 2012. Report POSIVA 2012--03. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2012.
17. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Description of the Disposal System 2012. Report POSIVA 2012-05. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2012.
18. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto- Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System 2012. Report POSIVA 2012--09. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2012.
19. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto – Complementary Considerations 2012. Report POSIVA 2012-11. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2012.
20. Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto – Synthesis 2012. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2012.
21. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Performance Assessment 2012. Report POSIVA 2012-04. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2013.
22. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Formulation of Radionuclide Release Scenarios 2012. Report POSIVA 2012-08, 2013.
23. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Biosphere Assessment 2012. Report POSIVA 2012-10. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2013.
24. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto- Models and Data for the Repository System 2012, Parts 1&2. Report POSIVA 2013-01. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 2013.
25. Construction to start on Finnish repository, World Nuclear News, November 2016, подготовлено по материалам сайта: <http://www.world-nuclear-news.org/WS-Construction-to-start-on-Finnish-repository-2911164.html>, заглавие с экрана, язык: английский.
26. Position Paper on Reversibility, ANDRA, January 2016.
27. Cigeo project: from basic design to detailed design - pursuant to reversibility, ANDRA Poster, 2016.
28. Focus on the French Geological Disposal The Cigéo Project, Pierre-Marie Abadie, Atoms for the Future 27 June 2016, Paris.
29. Progress Towards Geological Disposal of High-Level and Intermediate-Level Long-Lived Radioactive Waste at an Industrial Scale: The Cigéo Project in France, Sebastien Farin, Thibault Labalette, Gerald Ouzounian, Frederic Plas, Workshop on the Fifth Worldwide Review “Challenging Issues in Deep Geologic Disposal of Nuclear Wastes”, Fifth Worldwide Review — 2016.
30. Cigeo’s Core Components, Frédéric Launeau, ICGR-2016 Proceedings, December 2016.
31. International Peer Review on the “Safety Options Dossier” of the Project of Disposal of Radioactive Waste in Deep Geological Formations: CIGEO, Peer Review Report, November 2016, Paris, France.
32. French repository costs disputed, 12 January 2016, подготовлено по материалам сайта: <http://www.world-nuclear-news.org/WR-French-repository-costs-disputed-1201164.html>, заглавие с экрана, язык: английский.
33. Minister sets benchmark cost for French repository, 18 January 2016, подготовлено по материалам сайта: <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Minister-sets-benchmark-cost-for-French-repository-1801165.html>, заглавие с экрана, язык: английский.
34. Radioactive Waste Management in Switzerland: Progress since ICGR 2012, Thomas Ernst, International Conference on Geological Repositories Paris, December 7, 2016.
35. Swiss Geological Studies to Support Implementation of Repository Projects: Status 2015 and Outlook, A. Claudel, A. Gautschi, S. Vomvoris, Workshop on the Fifth Worldwide Review “Challenging Issues in Deep Geologic Disposal of Nuclear Wastes”, Fifth Worldwide Review — 2016.
36. Geological disposal: overview of international siting processes, Nuclear Decommissioning Authority, UK, September 2013.
37. Sweden's voluntarism approach to waste validated by regulator, 18 November 2015, подготовлено по материалам сайта: <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Swedens-voluntarism-approach-to-waste-validated-by-regulator-1611151.html>, заглавие с экрана, язык: английский.
38. Positive assessment for Swedish encapsulation plant, March 2016, подготовлено по материалам сайта: <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Positive-assessment-for-Swedish-encapsulation-plant-2303165.html>, заглавие с экрана, язык: английский.
39. Perspectives from Sweden: Going from licence application to repository implementation, Christopher Eckberg, ICGR-2016 Proceedings, Paris, December 2016.

## Приложение 1. Основные международные термины в области геологического захоронения ОЯТ и РАО

**Дифференцированный подход к разработке ПЗРО (graded approach)** — подход, означающий, что уровень детализации информации, представляемой в рамках обоснования и оценки безопасности, должен быть соизмерим с масштабами радиационных рисков, а также сопоставим с конкретным этапом разработки установки для захоронения. **Источник:** SSG-23, п. 6.23 [1].

**Изоляция (isolation)** — изоляция означает ограждение доступной биосферы от отходов и связанных с ними рисков за счет геологической среды, обеспечивающей надежное физическое ограждение отходов от биосферы, затрудняя доступ человека, не располагающего необходимым техническим оснащением, к отходам, а также ограничивая мобильность большинства долгоживущих радионуклидов. В пунктах геологического захоронения РАО изоляция должна в первую очередь обеспечиваться за счет глубины размещения отходов внутри геологической формации. Размещение установки геологического захоронения на оптимальной глубине в стабильной геологической формации обеспечивает защиту от воздействия геоморфологических процессов, таких как эрозия и оледенение. Установка для захоронения должна быть размещена вдали от районов залегания значительных ресурсов полезных ископаемых или других ценных ресурсов, что уменьшит вероятность непредумышленного нанесения ущерба установке. **Источник:** SSR-5 (требование 9), SSG-14 пп. 4.10 – 4.11 [2, 3].

**Итеративность оценок (iterative assessment)** — итеративность оценок является основой поэтапного подхода к разработке и оценке установок для захоронения (SSR-5, Требование 11). Такой подход среди всего прочего требует обновления информации, предоставляемой в рамках обоснования безопасности, на каждом этапе реализации программы захоронения. Применение поэтапного подхода обеспечивает итеративность процесса разработки, постепенно повышая ценность информации по мере продвижения от одного этапа разработки установки к следующим. **Источник:** SSR-5 Требование 11, SSG-14 п. 6.1 [2, 3].

**Итеративный подход (к оценке безопасности) (iterative approach to safety assessment)** — итеративный подход к оценке безопасности предусматривает многократную и/или параллельную реализацию следующих работ в рамках оценки безопасности: (a) Определение целей оценки, требований безопасности и критериев эффективности; (b) Получение информации и описание системы захоронения, в том числе формы отходов, характеристик площадки и инженерных конструкций; (c) Выявление явлений, событий и процессов, способных повлиять на показатели функционирования системы в долгосрочной перспективе; (d) Разработка и испытания концептуальных и математических моделей поведения системы захоронения и ее элементов; (e) Выявление и описание сценариев, имеющих отношение к данной установке; (f) Выявление потенциальных путей перемещения радионуклидов из установки для захоронения в окружающую среду и их поступления в организм человека; (g) Проведение оценки с использованием концептуальных и математических моделей; (h) Анализ робастности оценки; (i) Сравнение результатов оценки с установленными требованиями безопасности; (j) Дополнительные соображения. **Источник:** SSG-14, II.13 [3].

**Итеративный характер разработки ПЗРО (iterative manner of DF development)** — означает, что разработка ПЗРО должна вестись поэтапно, что способствует постепенному повышению ценности информации по мере продвижения от одного этапа разработки установки к следующим. **Источник:** SSG-14 п. 6.2 [3].

**Концептуальная модель (conceptual model)** — представление поведения системы, которое подходит для реализации конкретных задач оценки согласно ее контексту. Концептуальная модель содержит описание всех элементов системы и механизмов взаимодействия этих элементов между собой. Также, в ней представлен набор допущений относительно геометрии системы, химических, физических, гидрогеологических, биологических и механических характеристик системы и предположений об их изменении, выдвинутых на основании имеющейся информации и доступных знаний. **Источник:** SSG-23 п. 5.47 [1].

**Концепция захоронения (disposal concept)** — это описание стратегии безопасности, шагов по ее реализации и концептуального проекта установки для захоронения. Определение концепции является первым этапом «разработки установки для захоронения». В виду отсутствия на ранних этапах подробных количественных данных в обосновании безопасности качественно обосновывают принятую стратегию безопасности, а также определяют и объясняют подход, принятый для проведения оценки безопасности, реализации системы управления и снижения неопределенностей. **Источник:** SSG-23 п. 6.4 [1].

**Математическая модель (mathematical model)** — представление явлений и процессов, рассматриваемых в рамках концептуальной модели, с использованием математических уравнений. Такие представления могут отличаться по масштабам охвата и сложности в зависимости от уровня понимания моделируемых явлений или процессов и доступности информации. Математическую модель можно использовать для проведения количественного анализа. **Источник:** SSG-23 п. 5.47 [1].

**Многоуровневая аргументация (multiple lines of reasoning)** — это подход к разработке обоснования безопасности, позволяющий повысить доверие заинтересованных сторон и общественности и ценность информации, представленной в рамках обоснования безопасности, за счет использования набора

аргументов, которые в совокупности способствовали бы повышению уверенности в отдельных сведениях, выдвигаемых допущениях или результатах. **Источник:** SSG-23, п. 4.85 – 4.86 [1].

**Множественные барьеры безопасности (multiple barriers)** — два или большее число естественных или инженерно-технических барьеров, используемых для изоляции радиоактивных отходов в пункте захоронения (хранилище) и предотвращения миграции радионуклидов из него. **Источник:** Глоссарий МАГАТЭ [4].

**Множественные функции безопасности (multiple safety functions)** — в контексте системы захоронения этот термин означает, что удержание и изоляция отходов выполняются двумя или более естественными или инженерными барьерами безопасности установки для захоронения за счет различных физических и химических свойств или процессов совместно с применением мер эксплуатационного контроля. Таким образом, чтобы общая работоспособность системы захоронения чрезмерно не зависела от одной функции безопасности. **Источник:** SSR-5 (требование 7) [2], Глоссарий МАГАТЭ [4].

**Обоснование безопасности (safety case)** — набор аргументов и свидетельств в подтверждение безопасности установки или деятельности. **Источник:** Глоссарий МАГАТЭ [4].

Это набор аргументов и свидетельств, демонстрирующих то, что конкретная установка, часть установки или деятельность, осуществляемая на площадке, является безопасной. Обоснование безопасности разрабатывается под все основные этапы реализации проекта: проектирование, эксплуатация и закрытие пункта геологического захоронения и может включать в себя некоторые или все материалы, направляемые на рассмотрение регулирующему органу в целях получения разрешения на переход к следующему этапу проекта. По мере разработки проекта установки для захоронения, ее эксплуатации и закрытия обоснование безопасности постоянно дорабатывается. В него вносятся все протоколы о произошедших событиях, повлиявших на безопасность, и принятых корректирующих мерах. ... Обоснование безопасности должно содержать результаты оценки безопасности наряду с дополнительной информацией, включая подтверждающие данные и аргументацию относительно устойчивости и надежности установки, ее конструкции, логики проектных решений, а также качества оценки безопасности и основных допущений. Обоснование безопасности может также включать более общие аргументы, касающиеся захоронения радиоактивных отходов, а также информацию, необходимую для рассмотрения результатов оценки безопасности в перспективе. **Источник:** SSG-14 пп. 5.1 – 5.2 [3].

**Особенности, события и процессы (features, events and processes (FEPs))** — это характеристики площадки, события и процессы, связанные с площадкой, которые способны повлиять на функционирование установки для захоронения в долгосрочной перспективе и тем самым оказать влияние на обеспечение безопасности. **Источник:** Глоссарий МАГАТЭ [4].

**Оценка безопасности (safety assessment)** — это оценки систематического анализа рисков, связанных с установкой для захоронения, и способности площадки и конструкции установки обеспечивать реализацию функций безопасности и выполнение технических требований. Оценка безопасности должна включать количественное определение общего уровня функционирования, анализ имеющихся неопределенностей и сравнение с соответствующими проектными требованиями и нормами безопасности. Оценки должны проводиться для конкретной площадки, поскольку среда, окружающая систему захоронения, в отличие от инженерно-технических систем не может быть стандартизирована. **Источник:** SSR-5 п. 4.10 [2].

**Пассивная безопасность (passive safety)** — это безопасность, в максимально возможной степени обеспечиваемая пассивными средствами, при условии сведения к минимуму необходимости принятия активных мер после закрытия установки. На этапе эксплуатации безопасность установки должна обеспечиваться посредством пассивных средств, таких как экранирование и удержание за счет материала упаковки. Тем не менее, на этом этапе «должны приниматься определенные активные меры контроля». Безопасность после закрытия установки обеспечивается с помощью пассивных средств, таких как геологические и инженерные барьеры. **Источник:** SSR-5 Требование 5, SSG-14 пп. 4.17 – 4.18 [1, 2].

**ПИЛ конкретного назначения (ПИЛ КН) (site-specific URL (underground research laboratory))** — это подземная исследовательская лаборатория, сооружаемая на площадке, потенциально пригодной для строительства пункта захоронения, в которой НИОКР проводят в целях получения данных по конкретной площадке и наработке уникального опыта на этой площадке. Такая ПИЛ может быть построена как в пределах самой промышленной площадки будущего ПЗРО, так и на прилегающих к этой площадке территориях. Шахты и тоннели доступа ПИЛ КН впоследствии могут быть трансформированы в тоннели доступа, ведущие непосредственно к самому ПЗРО. **Источник:** OECD/NEA 2013 [5].

**ПИЛ общего назначения (ПИЛ ОН) (generic URL (underground research laboratory))** — это подземная исследовательская лаборатория, расположенная на площадке, где никогда не будут захораниваться радиоактивные отходы, используемая для проведения НИОКР общей направленности, на основе результатов которых могут быть приняты решения о сооружении пункта захоронения в сходных геологических условиях. **Источник:** OECD NEA 2013 [5].

**Подход к обеспечению безопасности (safety approach)** — подход к обеспечению безопасности подразумевает под собой все способы обеспечения безопасности человека и окружающей среды в течение всего срока службы установки для захоронения. В этой связи целесообразно, чтобы государство и регу-

лирующий орган разработали такой подход на национальном уровне, оформив его официально в виде отдельного документа, описывающего выбранную стратегию обеспечения безопасности. Такой документ должен быть разработан в самом начале реализации программы геологического захоронения и подвергаться периодическому пересмотру. **Источник:** SSG-14 п. 4.1 [3].

**Поэтапный подход к разработке ПЗРО (step-by-step approach)** — это подход, применяемый в процессе разработки ПЗРО, касается этапов, осуществление которых обуславливается процессами принятия регулирующих и политических решений, и обеспечивает: упорядоченное накопление и оценку необходимых научно-технических данных; оценку возможных площадок; разработку концепций захоронения; проведение итеративных исследований по проектированию конструкции и оценке безопасности с использованием постоянно уточняемых данных качества; рассмотрение органами технического и регулирующего надзора; организацию общественных консультаций; и принятие политических решений... Указанный поэтапный подход, наряду с изучением возможных вариантов выбора конструкции и эксплуатационного управления установкой для захоронения, призван обеспечивать гибкость в реагировании на новую техническую информацию, прогресс в технологиях обращения с отходами и материалов. Он также позволяет учесть социальные, экономические и политические аспекты, связанные с установкой для захоронения, с целью обеспечения принятия всех необходимых мер для дальнейшего предотвращения, недопущения или задержки выбросов в окружающую среду. Этот подход может включать варианты возвращения к предыдущему этапу или даже, для большинства типов установок, извлечения отходов после их размещения, если это будет сочтено целесообразным. **Источник:** SSR-5 пп. 1.18-1.20, 4.2 [2].

**Референтный сценарий (referencescenario, синонимы: basenessscenario, expectedevolution, normalevolution, undisturbedperformance)** — синонимы: основной сценарий, сценарий ожидаемой эволюции, нормальная эволюция, ненарушенное функционирование. **Источник:** SSG-23, п. 5.38 [1].

**Робастность (robustness)** — робастность элемента системы захоронения означает, что такой элемент будет продолжать выполнять закрепленную за ним функцию (функции) безопасности даже, несмотря на потенциально ожидаемые события, вызывающие нарушение нормального функционирования системы. Робастность системы захоронения является родственным понятием. В рамках этого понятия рассматриваются как робастность отдельных элементов системы, так и взаимодействие этих элементов между собой. По существу это понятие куда шире, чем понятие робастности отдельного элемента системы.

Под робастностью и надежностью оценки безопасности понимается нечувствительность результатов оценки безопасности к неопределенностям сценария, модели и данных. **Источник:** SSG-23, п. 6.39, 6.40, 6.41 [1].

**Система естественных барьеров безопасности (natural barriers)** — система, состоящая из геосферы, вмещающих пород и ближней зоны пункта захоронения, помимо функции задержания обеспечивающая долгосрочную защиту системы инженерных барьеров безопасности. **Источник:** Disposal Concepts for Radioactive Waste, 2000 [6].

**Система инженерных барьеров безопасности (engineered barrier system (EBS))** — система инженерных барьеров безопасности может включать целый ряд различных элементов, таких как форма отходов, контейнеры с отходами, буфер, засыпка, заглушка и закупорка. Основная задача системы инженерных барьеров – предотвратить и/или отсрочить выброс содержащихся в отходах радионуклидов во вмещающие породы пункта захоронения, по крайней мере, в течение первых нескольких сотен лет после закрытия установки пока наблюдаются высокие концентрации продуктов деления, которые могут быть мобилизованы с потоками природных грунтовых вод. В большинстве концепций захоронения проектом системы ИББ, функционирующей в стабильных благоприятных геологических условиях, предусмотрено удержание большей части радионуклидов в течение куда более длительных периодов времени. **Источник:** OECD NEA 2003, Engineered Barrier Systems (EBS) in the Context of the Entire Safety Case [7].

**Система управления (management system)** — под системой управления понимается совокупность всех элементов, изначально описываемых концепциями контроля качества (т.е. контроль качества продукции) и его эволюции в рамках процедур обеспечения качества (система, обеспечивающая качество продукции) и управления качеством (система управления качеством). Системы управления, предусматривающие обеспечение качества, должны применяться ко всем связанным с безопасностью видам деятельности, системам и компонентам на всех этапах разработки и эксплуатации установки для захоронения. Уровень обеспечения качества каждого элемента должен быть соразмерным его важности с точки зрения безопасности. **Источник:** SSG-14 п. 6.77, SSR-5 Требование 25 [2, 3].

**Стратегия безопасности (safety strategy)** — интегрированный подход высокого уровня, принятый для достижения безопасности установки для захоронения радиоактивных отходов. В соответствии с документом ОЭСР стратегия безопасности должна включать общую стратегию управления различными видами деятельности, производимыми при планировании, эксплуатации и закрытии установки для захоронения, включая этапы выбора площадки и проектирования, разработки обоснования и оценки безопасности, характеристики площадки и формы отходов, а также НИОКР. **Источник:** Post-closure Safety Case for Geological Repositories: Nature and Purpose, OECD, Paris (2004), SSG-14 п. 4.1 [3, 8]

Это подход к выбору площадки и проектированию установки, применяемый в целях соблюдения целей, принципов и критериев безопасности, нормативных требований и обеспечения уверенности в надлежащем качестве проведения инженерно-технических работ и в том, что была произведена оптимизация мер по обеспечению безопасности и физической защиты, учитывающий ряд ключевых элементов, а именно: обеспечение множественных функций безопасности и глубокоэшелонированной защиты, удержания и изоляции отходов, использования пассивных средств безопасности, робастность системы захоронения, доказуемость характеристик и аспектов, связанных с обеспечением безопасности, взаимозависимость с практикой обращения с отходами до их захоронения, принятый подход к управлению неопределенностями. **Источник:** SSG-23, п. 4.27 – 4.28 [1]

**Сценарий (scenario)** — постулируемый или принятый набор условий и/или событий. Данный термин чаще всего применяется в анализе или оценке для отображения возможных будущих условий и/или событий, которые моделируются, например, возможная будущая эволюция процессов в пункте захоронения и в окружающей его среде. Сценарий может представлять собой условия на данный момент времени или единичное событие, или же отображать изменения во времени условий и/или событий (включая процессы). **Источник:** Глоссарий МАГАТЭ [4].

**Сценарий альтернативной эволюции (alternate evolution scenario)** — сценарий, используемый для анализа последствий реализации различных процессов и событий, нарушающих условия нормального функционирования. **Источник:** SSG-23, п. 5.38 [1].

**Сценарий типа «что если» («whatif» scenario)** — сценарий, разрабатываемый не в целях описания возможной эволюции системы захоронения и окружающей ее среды, а для демонстрации свойств одного или нескольких ИББ или ЕББ, когда определенные значения параметров или другие свойства закрепляются за остальными частями системы барьеров, таким образом, чтобы воздействие на рассматриваемый барьер оказалось бы преувеличено. Таким образом можно доказать, что подобные экстремальные условия либо вообще не могут возникнуть в реальных условиях захоронения, либо что их можно избежать, применив особые проектные решения. Такой подход позволит более четко и ясно продемонстрировать робастность различных ИББ и ЕББ. **Источник:** SSG-23, п. 5.38 [1].

**Удержание (containment)** — функция удержания предполагает проектирование установки для захоронения радиоактивных отходов таким образом, чтобы отсрочить или свести к минимуму выброс радионуклидов. Удержание может обеспечиваться одновременно за счет долговечности формы отходов и упаковки с отходами. Форма и упаковка должны быть совместимы с другими инженерными барьерами системы и вмещающей геологической средой. Удержание должно обеспечиваться до тех пор, пока в результате радиоактивного распада не будет значительно снижен риск, связанный с отходами. Кроме того, в случае тепловыделяющих отходов удержание должно обеспечиваться до тех пор, пока отходы все еще выделяют тепловую энергию в количествах, которые могут оказать негативное воздействие на показатели функционирования системы захоронения. **Источник:** SSR-5 (требование 8) [2], SSG-14 п. 4.8 [3].

**Функции безопасности (safety functions)** — конкретная цель, которая должна быть достигнута для обеспечения безопасности. **Источник:** Глоссарий МАГАТЭ [4].

Функция безопасности может обеспечиваться посредством физических объектов, таких как форма отходов, упаковка отходов, засыпка или вмещающая геологическая формация, характеристики которых сами по себе предотвращают или ограничивают миграцию радионуклидов. Функция безопасности может также обеспечиваться с помощью химических свойств или процессов, таких как растворимость, скорость коррозии, скорость растворения или скорость выщелачивания. Отдельный барьер может выполнять сразу несколько функций безопасности. **Источник:** SSG-14 п. 4.1 [3].

## Литература к приложению 1

1. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-23, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2012.
2. Захоронение радиоактивных отходов, Конкретные требования безопасности № SSR-5, Нормы МАГАТЭ по безопасности, МАГАТЭ, Вена, 2011 год.
3. Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-14, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011.
4. IAEA Safety Glossary, 2016 Revision, IAEA, Vienna, June 2016 (Draft).
5. OECD NEA 2013, Underground Research Laboratories (URL), Radioactive Waste Management, NEA/RWM R (2013) 2, February 2013.
6. Disposal Concepts for Radioactive Waste, Final Report, Expert Group on Disposal Concepts for Radioactive Waste, 2000.
7. OECD NEA 2003, Engineered Barrier Systems (EBS) in the Context of the Entire Safety Case, Workshop Proceedings, Oxford, United Kingdom, 25-27 September 2002
8. Post-closure Safety Case for Geological Repositories: Nature and Purpose, OECD, Paris (2004).



## Приложение 2. Сводная информация по проектам глубинного геологического захоронения ОЯТ и РАО, реализуемым в европейских странах

Характеристики проекта	Страна		Великобритания	Венгрия
	Бельгия	Венгрия		
Основные характеристики проекта	Вид РАО	ДЖ НСАО/ ВАО/ОЯТ	НСАО	НСАО/ОЯТ
	Регистр РАО	РАО категории В (ДЖ НСАО) – от 11 000 до 10 430 м <sup>3</sup> ; РАО категории С (ВАО и ОЯТ) – от 600 до 4 500 м <sup>3</sup> .	~480 000 м <sup>3</sup> (из них: 1 400 м <sup>3</sup> ВАО, 11 200 м <sup>3</sup> ОЯТ, 364 000 м <sup>3</sup> САО)	вместимость – 40 000 м <sup>3</sup> ; до 2037 г. планируется захоронить около 22 000 м <sup>3</sup> РАО
	Глубина заложения, м	240 м	200 – 1000 м	500 – 800 м
	Вмещающие геологические формации	глины	не определены	граниты
	Способ доставки РАО в ПЗ	по вертикальному стволу шахты	не определен	наклонный спуск
	Ориентация РАО/этажность при вертикальной ориентации*	горизонтальная ориентация	не определена	камеры захоронения с контейнерами, штабелируемыми в несколько уровней
	Форма и упаковка	суперконтейнеры из углеродистой стали в окружении бетона для ОЯТ и ВАО, контейнеры из армированного бетона для НСАО	не определены	контейнеры из армированного бетона с цементными РАО
	Возможность повторного извлечения	предусмотрена	предусмотрена	предусмотрена
	Наличие специализированной организации	ONDRAF/NIRAS (Бельгийское агентство по обращению с РАО и депаширными материалами) с 1981 г.	RWMD NDA (Управление по захоронению РАО) с 2014 г.	PURAM (Государственное агентство по обращению с РАО) с 1998 года
	Статус проекта	Текущий статус	НИОКР, направленные на подтверждение пригодности конкретных вмещающих пород	поиск площадки, скрининговые исследования
Сроки ввода в эксплуатацию		После получения лицензии на строительство: 15 лет (НСАО) и 50 лет (ОЯТ/ВАО)	САО – 2040 г. / ВАО/ОЯТ – 2075 г.	2064 г.
Длительность эксплуатации		не менее 100 лет	не определена	не определена
Социальные аспекты	Плотность населения в районе размещения <sup>***</sup> , чел/км <sup>2</sup>	342	106	106 (27,17)
	Право вето у местного населения	да, но не определено на законодательном уровне	да, но не зафиксировано на законодательном уровне	да, но не зафиксировано на законодательном уровне
	Денежные выплаты муниципалитетам	не определено	нет	нет
	Программа привлечения местного населения	не разработана	разработана	разработана
	Площадка расположена вблизи ядерных объектов	не известно	нет	нет

\* количество камер в одной вертикальной камере/скважине захоронения

\*\* если площадка не определена, то указана плотность населения в стране

Страна		Франция		Финляндия		Германия	
Характеристики проекта		Франция		Финляндия		Германия	
Основные характеристики проекта	Вид РАО	ДЖ САО/ВАО		ОЯТ		НАО/САО (Копрад)	
	Реестр РАО	73 609 м <sup>3</sup> / 10 072 м <sup>3</sup>		6 500 т		303 000 м <sup>3</sup>	
Концепция захоронения	Глубина заложения, м	500 м		400 м		800 – 1 200 м	
	Вмещающие геологические формации	глины		гранит		глины	
	Способ доставки РАО в ПЗ	наклонный спуск		по вертикальному стволу шахты		по вертикальному стволу шахты	
	Ориентация РАО/этажность при вертикальной ориентации*	горизонтальная ориентация		вертикальная /1 канистра		камеры захоронения с контейнерами, штабелируемыми в несколько уровней	
	Форма и улаковка	остеклованные ВАО в канистрах из нержавеющей стали, заключенных во внешнюю толстостенную оболочку из углеродистой стали и труб из низколегированной стали; НСАО будут иммобилизованы в форме из битума		инкапсуляция ОЯТ в канистры из меди с чугунными вставками		в зависимости от типа отходов захоронение в цилиндрических канистрах со вставками из чугуна или в контейнерах из армированного бетона или листовой стали	
	Возможность повторного извлечения	предусмотрена		предусмотрена		предусмотрена	
	Наличие специализированной организации	ANDRA		Posiva Oy		BGE mbH (Федеральная компания по захоронению радиоактивных отходов) с 2016 г.	
	Текущий статус	ANDRA завершает подготовку заявки на получение лицензии на сооружение ПЗ, которая будет направлена на рассмотрение регулятору в 2018 году.		началась проходка подземных выработок пункта захоронения		строительные работы на площадке по реконструкции двух существующих шахт ведутся с 2009 года	
	Сроки ввода в эксплуатацию	опытное захоронение РАО – с 2030 г., промышленная эксплуатация – с 2035 г.		2023 г.		2022 г.	
	Длительность эксплуатации	закрытие в 2130 – 2140 гг.		захоронение до 2112 г., закрытие в 2120 г.		не определена	
Социальные аспекты	Плотность населения в районе размещения**, чел/км <sup>2</sup>	31		17,2		160	
	Право вето у местного населения	нет		да		нет	
	Денежные выплаты муниципалитетам	да		нет		нет	
	Программа привлечения местного населения	разработана		разработана, реализуется в рамках процедуры ОВОС		не разработана	
Площадка расположена вблизи ядерных объектов	нет		да		нет		
							2050 г.
							не определена
							225
							нет
							нет
							не разработана
							не известно

\* количество канистр в одной вертикальной камере/скважине захоронения

\*\* если площадка не определена, то указана плотность населения в стране

Характеристики проекта		Страна	Швейцария	Швейцария
Основные характеристики проекта	Вид РАО		ОЯТ	НАО/САО
	Реестр РАО		12 100 т	100 000 м <sup>3</sup>
	Глубина заложения, м		500 м	300 – 400 м
	Вмещающие геологические формации		гранит	глины
Основные характеристики захоронения	Способ доставки РАО в ПЗ		по вертикальному стволу шахты	наклонный спиралевидный спуск
	Ориентация РАО/этажность при вертикальной ориентации*		вертикальная /1 канистра	камеры захоронения с контейнерами, штабелируемые в несколько уровней
	Форма и упаковка		инкапсуляция ОЯТ в канистры из меди с чугунными вставками	компактированные НАО и САО в стальных канистрах или бочках из асбестоцемента, упакованных в специальные контейнеры из армированного бетона, свободное пространство заливается цементом
Концепция захоронения	Возможность повторного извлечения		предусмотрена	предусмотрена
Статус проекта	Наличие специализированной организации		SKB	Nagra (Национальное кооперативное общество по захоронению РАО)
	Текущий статус		имеется разрешение SSM на строительство, заявка находится на рассмотрении суда по вопросам окружающей среды (решение ожидается в сентябре 2017 г.)	В 2015 году Nagra направило регулирующему органу предложение по двум регионам-кандидатам, вышедшей в 2012 году. Свое решение регулятор планирует огласить в 2018 году, после чего приступят к этапу детализированных исследований
Социальные аспекты	Сроки ввода в эксплуатацию		начало 2030-х гг.	2050 г.
	Длительность эксплуатации		не определено	2 150 г.
	Плотность населения в районе размещения**, чел/км <sup>2</sup>		6,1	189
	Право вето у местного населения		да	нет
	Денежные выплаты муниципалитетам		да	нет
	Программа привлечения местного населения		Разработана, реализуется в рамках процедуры ОВОС	не разработана
	Площадка расположена вблизи ядерных объектов		да	не известно

\* количество канистр в одной вертикальной камере/скважине захоронения

\*\* если площадка не определена, то указана плотность населения в стране