

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

# СЕРИЯ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Оценка безопасности  
приповерхностного  
захоронения  
радиоактивных отходов

## РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

№ WS-G-1.1



МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА

## ПУБЛИКАЦИИ МАГАТЭ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ

### НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

В соответствии со статьей III своего Устава Агентство уполномочено устанавливать нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и обеспечивать применение этих норм в мирной деятельности в ядерной области.

Связанные с регулирующей деятельностью публикации, посредством которых МАГАТЭ устанавливает нормы и меры безопасности, выпускаются в **Серии норм МАГАТЭ по безопасности**. Эта серия охватывает ядерную безопасность, радиационную безопасность, безопасность перевозки и безопасность отходов, а также общие принципы безопасности (т. е. имеющие отношение к двум или более из этих четырех областей), и категории публикаций в этой серии включают **Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности**.

**Основы безопасности** (название серии и категории синим шрифтом) содержат основные цели, концепции и принципы обеспечения безопасности и защиты в деле освоения и применения ядерной энергии в мирных целях.

**Требования безопасности** (красным шрифтом) устанавливают требования, которые необходимо выполнять для обеспечения безопасности. Эти требования, для выражения которых применяется формулировка “должен, должна, должно, должны”, определяются целями и принципами, изложенными в Основах безопасности.

**Руководства по безопасности** (зеленым шрифтом) рекомендуют меры, условия или процедуры по выполнению требований безопасности. Для рекомендаций в Руководствах по безопасности применяется формулировка “следует”, которая означает, что для выполнения требований необходимо принимать рекомендуемые или эквивалентные альтернативные меры.

Нормы безопасности МАГАТЭ не имеют юридически обязательной силы для государств-членов, но могут приниматься ими по их усмотрению для использования в национальных регулирующих положениях, касающихся их собственной деятельности. Эти нормы обязательны для МАГАТЭ в отношении его собственной работы и для государств – в отношении операций, в которых МАГАТЭ оказывает помощь.

Информацию о программе норм безопасности МАГАТЭ (включая сведения об изданиях на других языках помимо английского) можно получить на сайте МАГАТЭ в интернете

[www.iaea.org/ns/coordinet](http://www.iaea.org/ns/coordinet)

или по запросу, который следует направлять в Секцию координации деятельности по обеспечению безопасности МАГАТЭ по адресу: IAEA, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

### ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ

В соответствии со статьями III и VIII.C своего Устава МАГАТЭ предоставляет сведения и способствует обмену информацией, касающейся мирной деятельности в ядерной области, и служит в этом посредником между государствами-членами.

Доклады по вопросам обеспечения безопасности и защиты в ядерной деятельности выпускаются в других сериях, в частности в **Серии докладов МАГАТЭ по безопасности**, в качестве информационных публикаций. Доклады по безопасности могут содержать описание образцовой практики, а также практических примеров и подробно изложенных методов, которые могут использоваться для выполнения требований безопасности. В них не устанавливаются требования и не содержатся рекомендации.

Другие серии изданий МАГАТЭ, которые включают поступающие в продажу публикации по вопросам безопасности, – это **Серия технических докладов, Серия докладов по радиологическим оценкам и Серия ИНСАГ**. МАГАТЭ публикует также доклады о радиологических аварийных ситуациях и другие поступающие в продажу специальные издания. На некоммерческой основе выпускаются публикации по вопросам безопасности в таких сериях, как **Серия ТЕСДОС, Серия временных норм безопасности, Серия учебных курсов, Серия услуг МАГАТЭ и Серия компьютерных руководств**, а также **Практические руководства по радиационной безопасности и Практические технические руководства по излучениям**.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ЗАХОРОНЕНИИ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ИТАЛИЯ	ПЕРУ
АВСТРИЯ	ЙЕМЕН	ПОЛЬША
АЗЕРБАЙДЖАН	КАЗАХСТАН	ПОРТУГАЛИЯ
АЛБАНИЯ	КАМБОДЖА	РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
АЛЖИР	КАМЕРУН	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АНГОЛА	КАНАДА	РУМЫНИЯ
АРГЕНТИНА	КАТАР	САЛЬВАДОР
АРМЕНИЯ	КЕНИЯ	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
АФГАНИСТАН	КИПР	СВЯТЕЙШИЙ ПРЕСТОЛ
БАНГЛАДЕШ	КИТАЙ	СЕНЕГАЛ
БЕЛАРУСЬ	КОЛУМБИЯ	СИНГАПУР
БЕЛЬГИЯ	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
БЕНИН	КОСТА-РИКА	СЛОВАКИЯ
БОЛГАРИЯ	КОТ-Д'ИВУАР	СЛОВЕНИЯ
БОЛИВИЯ	КУБА	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	КУВЕЙТ	ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
БОТСВАНА	ЛАТВИЯ	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
БРАЗИЛИЯ	ЛИБЕРИЯ	СУДАН
БУРКИНА-ФАСО	ЛИВАН	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
БЫВШАЯ ЮГОСЛАВСКАЯ РЕСПУБЛИКА МАКЕДОНИЯ	ЛИВИЙСКАЯ АРАБСКАЯ ДЖАМАХИРИЯ	ТАДЖИКИСТАН
ВЕНГРИЯ	ЛИТВА	ТАИЛАНД
ВЕНЕСУЭЛА	ЛИХТЕНШТЕЙН	ТУНИС
ВЬЕТНАМ	ЛЮКСЕМБУРГ	ТУРЦИЯ
ГАБОН	МАВРИКИЙ	УГАНДА
ГАИТИ	МАДАГАСКАР	УЗБЕКИСТАН
ГАНА	МАЛАЙЗИЯ	УКРАИНА
ГВАТЕМАЛА	МАЛИ	УРУГВАЙ
ГЕРМАНИЯ	МАЛЬТА	ФИЛИППИНЫ
ГРЕЦИЯ	МАРОККО	ФИНЛЯНДИЯ
ГРУЗИЯ	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	ФРАНЦИЯ
ДАНИЯ	МЕКСИКА	ХОРВАТИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО	МОНАКО	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	МОНГОЛИЯ	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЕГИПЕТ	МЬЯНМА	ЧИЛИ
ЗАМБИЯ	НАМИБИЯ	ШВЕЙЦАРИЯ
ЗИМБАБВЕ	НИГЕР	ШВЕЦИЯ
ИЗРАИЛЬ	НИГЕРИЯ	ШРИ-ЛАНКА
ИНДИЯ	НИДЕРЛАНДЫ	ЭКВАДОР
ИНДОНЕЗИЯ	НИКАРАГУА	ЭСТОНИЯ
ИОРДАНИЯ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ЭФИОПИЯ
ИРАК	НОРВЕГИЯ	ЮГОСЛАВИЯ, СОЮЗНАЯ РЕСПУБЛИКА
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИРЛАНДИЯ	ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЯМАЙКА
ИСЛАНДИЯ	ПАКИСТАН	ЯПОНИЯ
ИСПАНИЯ	ПАНАМА	
	ПАРАГВАЙ	

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение "более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире".

© МАГАТЭ, 1999 год

Разрешение на воспроизведение или перевод информации, содержащейся в данной публикации, можно получить, направив запрос в письменном виде по адресу: International Atomic Energy Agency, Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

Напечатано в России  
Декабрь 2002 года  
STI/PUB/1075

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

СЕРИЯ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ, № WS-G-1.1

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИПОВЕРХНОСТНОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА, 1999 год

## ВСТУПЛЕНИЕ

### Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Баради

Одна из уставных функций МАГАТЭ состоит в том, чтобы устанавливать или применять нормы безопасности для охраны здоровья, жизни и имущества в деятельности по освоению и применению ядерной энергии в мирных целях, а также обеспечивать применение этих норм как в своей собственной работе, так и в работе, которой оно оказывает содействие, и, по просьбе сторон, в деятельности, проводимой на основании любого двустороннего или многостороннего соглашения, или, по просьбе того или иного государства – члена МАГАТЭ, в любом виде деятельности этого государства в области ядерной энергии.

Наблюдение за разработкой норм безопасности осуществляют следующие консультативные органы: Консультативная комиссия по нормам безопасности (ККНБ); Консультативный комитет по нормам ядерной безопасности (НУССАК); Консультативный комитет по нормам радиационной безопасности (РАССАК); Консультативный комитет по нормам безопасности перевозки (ТРАССАК); и Консультативный комитет по нормам безопасности отходов (ВАССАК). Государства-члены широко представлены в этих органах.

В целях обеспечения максимально широкого международного консенсуса нормы безопасности направляются также всем государствам-членам для замечаний перед их одобрением Советом управляющих МАГАТЭ (в случае Основ безопасности и Требований безопасности) или, от имени Генерального директора, Комитетом по публикациям (в случае Руководств по безопасности).

Нормы безопасности МАГАТЭ не имеют юридически обязательной силы для государств-членов, но могут приниматься ими по их усмотрению для использования в национальных регулирующих положениях, касающихся их собственной деятельности. Эти нормы обязательны для МАГАТЭ в отношении его собственной работы и для государств – в отношении операций, в которых МАГАТЭ оказывает помощь. Любое государство, желающее вступить в соглашение с МАГАТЭ с целью получить от него помощь в связи с выбором площадки, проектированием, строительством, вводом в эксплуатацию, эксплуатацией или снятием с эксплуатации ядерной установки или любой другой деятельностью, должно будет выполнять те положения норм безопасности, которые относятся к деятельности, охватываемой соглашением. Однако следует помнить, что ответственность за принятие окончательных решений и юридическая ответственность в любых процедурах лицензирования возлагаются на государства.

Нормы безопасности устанавливают важнейшие основы для обеспечения безопасности, однако может также потребоваться включение более детальных требований, отражающих национальную практику. Кроме того, как правило, имеются специальные вопросы, которые должны оцениваться экспертами отдельно в каждом случае.

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

Физическая защита делящихся и радиоактивных материалов, а также АЭС в целом упоминается в надлежащих случаях, но не рассматривается подробно; к обязательствам государств в этом отношении следует подходить на основе соответствующих договорно-правовых документов и публикаций, разработанных под эгидой МАГАТЭ. Нерадиологические аспекты техники безопасности на производстве и охраны окружающей среды также прямо не рассматриваются; признано, что в отношении этих аспектов государства должны выполнять свои международные обязательства и обязанности.

Требования и рекомендации, изложенные в нормах безопасности МАГАТЭ, возможно, не в полной мере соблюдаются на некоторых установках, построенных в соответствии с принятыми ранее нормами. Решения о том, как на таких установках должны применяться нормы безопасности, будут приниматься самими государствами.

Внимание государств обращается на тот факт, что нормы безопасности МАГАТЭ, не будучи юридически обязательными, разработаны для обеспечения использования ядерной энергии и радиоактивных материалов в мирных целях таким образом, чтобы государства в соответствии с общепринятыми принципами международного права и правилами имели возможность выполнять свои обязательства в отношении, например, охраны окружающей среды. Согласно одному такому общему принципу территория государства не должна использоваться так, чтобы причинялся ущерб другому государству. Государства, следовательно, обязаны проявлять должную осмотрительность и соблюдать соответствующие нормы.

Гражданская ядерная деятельность, осуществляемая в рамках юрисдикции государств, как и любая другая деятельность, подпадает под действие обязательств, которые государства могут принимать согласно международным конвенциям в дополнение к общепризнанным принципам международного права. Государствам надлежит принимать в рамках своих национальных правовых систем такое законодательство (включая регулирующие положения) и другие нормы и меры, которые могут быть необходимы для эффективного выполнения ими всех взятых на себя международных обязательств.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Радиоактивные отходы образуются при производстве атомной энергии и использовании радиоактивных материалов в промышленности, научно-исследовательской работе и медицине. Важность безопасного обращения с радиоактивными отходами для защиты здоровья человека и охраны окружающей среды давно признана, и в этой области накоплен значительный опыт.

Программа МАГАТЭ по нормам безопасности в области обращения с радиоактивными отходами (НБРО) направлена на разработку целостной и всеобъемлющей системы принципов, требований и рекомендаций для безопасного обращения с радиоактивными отходами и формулирование руководящих принципов, необходимых для их применения. Она реализуется в рамках Серии изданий МАГАТЭ по нормам безопасности в виде комплекта внутренне взаимосвязанных документов, отражающих международный консенсус. Издания по НБРО призваны предоставить в распоряжение государств-членов серию охватывающих широкий круг проблем международно согласованных публикаций, которая поможет им в разработке или дополнении национальных критериев, норм и практики.

Настоящее Руководство по безопасности посвящено рассмотрению оценки безопасности приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. В нем содержатся рекомендации относительно способов выполнения требований, связанных с оценкой безопасности, изложенных в публикации “Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов” категории “Требования безопасности”, а также руководящие принципы в отношении подходов к проведению оценок безопасности в контексте приповерхностных хранилищ.

Настоящее Руководство по безопасности было разработано в ходе ряда совещаний консультантов и заседаний Технического комитета и рассмотрено Консультативным комитетом по нормам безопасности отходов (ВАССАК), Консультативной комиссией по нормам безопасности (ККНБ) и государствами-членами.

МАГАТЭ выражает признательность всем, кто оказал содействие в составлении и рассмотрении публикации.



Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

#### РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

*Дополнение, включенное в публикацию, представляет собой неотъемлемую часть норм и имеет тот же статус, что и основной текст. Приложения, сноски и списки литературы, включенные в публикацию, содержат дополнительную информацию или практические примеры, которые могут помочь пользователю в работе с нормами.*

*Формулировка “должен, должна, должно, должны” используется в нормах безопасности в случаях, когда речь идет о требованиях, обязанностях и обязательствах. При рекомендации желательного варианта используется формулировка “следует”.*

*Официальным текстом является английский вариант.*

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ .....	1
	Общие сведения (1.1—1.3) .....	1
	Цель (1.4).....	2
	Сфера применения (1.5—1.6) .....	2
	Структура (1.7) .....	3
2.	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	3
	Проблемы и требования безопасности (2.1—2.7) .....	3
	Использование оценок безопасности (2.8—2.12).....	4
	Итеративный подход к оценке безопасности (2.13—2.17) .....	7
3.	РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ .....	9
	Общие положения (3.1—3.4) .....	9
	Определение целей (3.5—3.6) .....	10
	Требования к данным (3.7—3.15).....	10
	Определение системы (3.16—3.26) .....	13
	Анализ последствий (3.27—3.43).....	18
	Представление результатов оценки безопасности (3.44—3.50) .....	23
4.	УКРЕПЛЕНИЕ ДОВЕРИЯ .....	25
	Введение (4.1—4.2) .....	25
	Проверка, калибровка и подтверждение достоверности моделей (4.3—4.6) .....	26
	Природные аналоги (4.7—4.8) .....	27
	Обеспечение качества (4.9) .....	28
	Независимая экспертиза оценок безопасности (4.10—4.11) .....	28
	Дополнительные соображения (4.12—4.13) .....	29
	ССЫЛКИ .....	30
	СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ .....	31
	КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ПО ОДОБРЕНИЮ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ .....	33

## 1. ВВЕДЕНИЕ

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Обращение с радиоактивными отходами следует осуществлять в соответствии с принципами безопасности, установленными в Основах безопасности НБРО [1]. Требования безопасности при захоронении отходов в приповерхностных хранилищах изложены в документе [2]. Следует обеспечить, чтобы защитные свойства выбранного способа захоронения в отношении изоляции отходов от окружающей человека среды соответствовали степени их опасности и долговечности. Приповерхностное захоронение является способом, применяемым для захоронения радиоактивных отходов, содержащих короткоживущие радионуклиды, распад которых до незначительных уровней радиоактивности происходит в пределах от нескольких десятилетий до нескольких столетий, и долгоживущие радионуклиды в приемлемо низких концентрациях [2, 3]. Приповерхностные хранилища подразделяются на две основные категории: 1) хранилища, в состав которых входят сооружения, расположенные либо выше (насыпи и т. д.), либо ниже (траншеи, рвы, ямы и т. д.) естественной поверхности земли, и 2) сооружения в скальных пустотах (кавернах). В первом случае слой, покрывающий отходы сверху, имеет толщину несколько метров, в то время как во втором случае слой горных пород поверх отходов может иметь толщину несколько десятков метров.

1.2. Приповерхностное захоронение применяется в ряде стран, в некоторых случаях – с 40-х годов, при этом площадки, типы и количество отходов и конструкция сооружений отличаются большим разнообразием. Надлежащим образом размещенное, спроектированное и сооруженное приповерхностное хранилище обеспечивает эффективную с экономической точки зрения и безопасную изоляцию определенных видов радиоактивных отходов. Безопасность хранилища и доверие к ней общественности могут быть повышены путем (или частично зависят от) соответствующих мер административного контроля после закрытия хранилища (который включает такие виды активного контроля как мониторинг, наблюдение и восстановительные работы, и такие виды пассивного контроля, как контроль землепользования и ведение регистрационных записей). Если для приповерхностных хранилищ такой контроль рассматривается как часть системы изоляции отходов, его планированию следует уделить серьезное внимание. Длительность контроля, необходимого для обеспечения безопасности, будет зависеть от таких факторов, как характеристики отходов, организационно-правовые и экономические аспекты, характеристики площадки и проект хранилища. Однако обычно считается, что активный официальный административный контроль приповерхностных хранилищ эффективен до нескольких сотен лет.

1.3. Оценка безопасности представляет собой процедуру проведения оценки функционирования (эффективности защитных свойств) системы захоронения

и, в качестве главной цели, ее потенциального радиологического воздействия на здоровье человека и окружающую среду. При оценке безопасности приповерхностных хранилищ следует рассматривать их воздействие как на этапе эксплуатации, так и после их закрытия. Потенциальные радиационные воздействия после закрытия хранилища могут возникнуть в результате постепенно протекающих процессов, таких как разрушение барьеров, и в результате отдельных событий, которые могут повлиять на изоляцию отходов. Возможность непреднамеренного проникновения (непреднамеренной интрузии) человека можно считать пренебрежимо малой, пока административный контроль считается эффективным в полной мере, но она может возрасти впоследствии. Техническая приемлемость хранилища в значительной степени зависит от количества и состава размещаемых отходов, инженерных средств обеспечения безопасности хранилища и пригодности площадки. Судить об этом следует на основании результатов оценок безопасности, которые, как предполагается, должны обеспечить разумную уверенность в том, что хранилище отвечает проектным целям, эксплуатационным нормам и регулирующим критериям. Эти аспекты определены в Требованиях безопасности [2] и обсуждаются далее в настоящем и еще одном Руководстве по безопасности, касающемся той же проблемы [4].

## ЦЕЛЬ

1.4. Целью данного Руководства по безопасности является предоставление рекомендаций по выполнению требований оценки безопасности приповерхностных хранилищ. В Руководстве обобщены наиболее важные соображения по оценке безопасности приповерхностных хранилищ и даются рекомендации в отношении этапов выполнения оценки.

## СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

1.5. Данное Руководство по безопасности посвящено оценке безопасности приповерхностных хранилищ для хранения радиоактивных отходов в твердой форме. Оно включает рассмотрение этапа эксплуатации и этапа после закрытия хранилища, но особое внимание уделяется вопросам, относящимся к этапу после закрытия, поскольку оценка безопасности при эксплуатации приповерхностных хранилищ аналогична оценке при эксплуатации других установок по обращению с отходами. В данном Руководстве по безопасности не рассматриваются вопросы оценки безопасности геологических хранилищ, хранилищ отходов, образующихся при добыче и обогащении руд (хвостохранилищ), а также отходов, образовавшихся при проведении реабилитации территории и остающихся на площадке.

1.6. Хотя радиоактивные отходы могут содержать потенциально опасные нерадиоактивные компоненты, в данном Руководстве по безопасности непосредственно рассматривается только радиационная опасность, связанная с отходами.

## СТРУКТУРА

1.7. Настоящее Руководство содержит рекомендации по положениям оценки безопасности, относящимся к приповерхностному захоронению (раздел 2), и руководящие принципы, определяющие основные направления деятельности при проведении оценки безопасности (раздел 3). Кроме того, рассматриваются мероприятия, необходимые для укрепления доверия и создания базиса для обеспечения обоснованной уверенности в том, что система захоронения отходов отвечает регулирующим нормам (раздел 4).

## 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

### ПРОБЛЕМЫ И ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

#### Этап эксплуатации

2.1. В соответствии с требованиями, изложенными в [2], радиационная защита людей, подвергающихся облучению в результате эксплуатации хранилища отходов, должна быть оптимизирована, а облучение отдельных лиц должно находиться в установленных дозовых пределах. Более подробно вопросы разработки политики радиационной защиты при захоронении радиоактивных отходов изложены в [5].

2.2. На этапе эксплуатации приповерхностного хранилища может происходить радиационное облучение населения, хотя и низкого уровня, как непосредственное, так и из-за сбросов/выбросов жидких и газообразных радиоактивных отходов с площадки. Следует регулировать и ограничивать любой сброс в окружающую среду, с тем чтобы дозы облучения работников и населения находились на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов и не превышали соответствующих пределов и ограничений, приведенных в Основных нормах безопасности [6] и в документе [5].

2.3. Кроме облучения работников и населения при нормальных условиях необходимо также учитывать потенциальное облучение при отклонениях от нормальных эксплуатационных условий или аварийных ситуациях. Они могут включать, например, пожар с возгоранием упаковок отходов или их повреждение при обращении с ними на площадке. Требования по организации защиты от такого рода опасностей представлены в [6].

#### Этап после закрытия хранилища

2.4. Главной проблемой обеспечения безопасности на этапе после закрытия приповерхностных хранилищ является возможность радиационного облучения

и воздействия на окружающую среду в отдаленном будущем. Можно предположить, что некоторые эффекты появятся, например, вследствие постепенного выщелачивания радионуклидов в грунтовые воды и последующей миграции через окружающую среду и переносу к населению. Таким образом, может потребоваться, чтобы оценки давали прогноз поведения площадки и установки на периоды времени порядка сотен или даже тысяч лет. Именно проблемы, связанные с прогнозированием поведения площадки и хранилища на такие периоды времени (см. пункты 3.34 и 3.38), отличают оценки безопасности этапа после закрытия от более типичных оценок безопасности на этапе эксплуатации. При оценках безопасности этапа после закрытия хранилища следует также учитывать другие виды облучения, которые могут возникнуть только после наступления (вследствие) определенных событий. Примерами таких событий являются разрушение изолирующих барьеров и необычные погодные условия. Целью оценок безопасности этапа после закрытия скорее является получение обоснованных гарантий того, что система захоронения обеспечит достаточный уровень безопасности, а не предсказание ее какого-то определенного поведения в будущем.

2.5. К облучению могут также привести события, вызванные деятельностью человека, но их трудно предсказать заранее. Для ограничения последствий, связанных с деятельностью человека, могут оказаться эффективными одна или несколько из следующих мер: ограничение концентрации определенных радионуклидов; более эффективный административный контроль; или установление таких проектных критериев, как минимальная глубина хранилища.

2.6. Требования безопасности в период после закрытия изложены в [2]. Количественные критерии выражены в терминах пределов дозы или риска и подразумевается, что они применимы при оценке как в случае нормального или постепенного выхода радионуклидов, так и разрушительных процессов, описанных в пунктах 2.4 и 2.5.

2.7. Окончательное решение о приемлемости хранилища следует базировать на обоснованной уверенности в том, что требования безопасности выполняются [2]. Практические подходы к обеспечению обоснованной уверенности в соответствии регулирующим требованиям базируются на оценке безопасности и включают такие признанные технические и организационные принципы, как глубоко эшелонированная защита, надежные технологии, обеспечение качества, культура безопасности и административный контроль.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЦЕНОК БЕЗОПАСНОСТИ

2.8. На разных этапах создания, эксплуатации и закрытия хранилища оценки безопасности имеют различные цели. На раннем этапе оценки безопасности следует применять для определения технической осуществимости основных концепций захоронения, планирования исследований площадки и содействия при

первоначальном принятии решений. Применение оценок безопасности более важно на этапах, следующих за начальной разработкой концепции и выбором площадки. На этих этапах такие оценки следует осуществлять в поддержку оптимизации систем и проектирования установки, что достигается путем проведения сравнительных оценок различных вариантов с использованием альтернативных типов упаковок отходов, конструкций емкостей для захоронения, мер по управлению площадкой и ее закрытию.

2.9. Полнота и устойчивость оценки безопасности, в свою очередь, будут зависеть от полноты и качества всех необходимых исходных данных по характеристике отходов, площадки, упаковок отходов и по функции и характеристике других инженерных барьеров. Таким образом, необходима тесная координация программы по оценке безопасности и программы по сбору данных в ее обеспечение, поскольку оценка безопасности является полезным инструментом при разработке и определении приоритетов научно-исследовательских работ в обеспечение проекта.

2.10. Важнейшей функцией оценки безопасности является ее функция в процессе лицензирования при подготовке соответствующей заявки и рассмотрении вопроса о выдаче лицензии. Оценка безопасности на этом этапе включает рассмотрение как радиационных аспектов, так и аспектов, связанных с окружающей средой. Такие оценки безопасности для целей регулирования могут требоваться на различных этапах процесса лицензирования, в том числе при выдаче разрешений на сооружение, эксплуатацию и закрытие хранилища, и в тех случаях, когда в состоянии хранилища происходят существенные изменения. Таким образом, оценку безопасности следует выполнять и пересматривать на протяжении всех соответствующих этапов развития хранилища путем использования соответствующих моделей и данных.

2.11. Результаты оценки безопасности являются важным средством для подтверждения приемлемости количества и состава размещаемых отходов и/или уровней концентрации определенных радионуклидов в отходах [7] и обеспечивают один из способов разработки требований приемлемости отходов для данного приповерхностного хранилища. Обычно приемлемые уровни активности и количество отходов зависят от анализа сценариев выхода радионуклидов в окружающую среду и их переноса в окружающей среде различными путями. Также важным является рассмотрение сценариев с проникновением (интрузией) человека, что часто определяет приемлемые уровни долгоживущих радионуклидов в хранилище. Однако следует отметить, что большие количества короткоживущих радионуклидов могут представлять потенциальные проблемы для безопасности на этапе эксплуатации и безопасности после закрытия, и эти аспекты следует рассмотреть при оценке безопасности и при установлении допустимых пределов в отношении количества и активности отходов и концентрации радионуклидов (см. пункт 2.5). К тому же оценки безопасности следует также применять для определения уровней содержания химических веществ в отходах, которые могут привести к ухудшению защитных свойств системы барьеров.

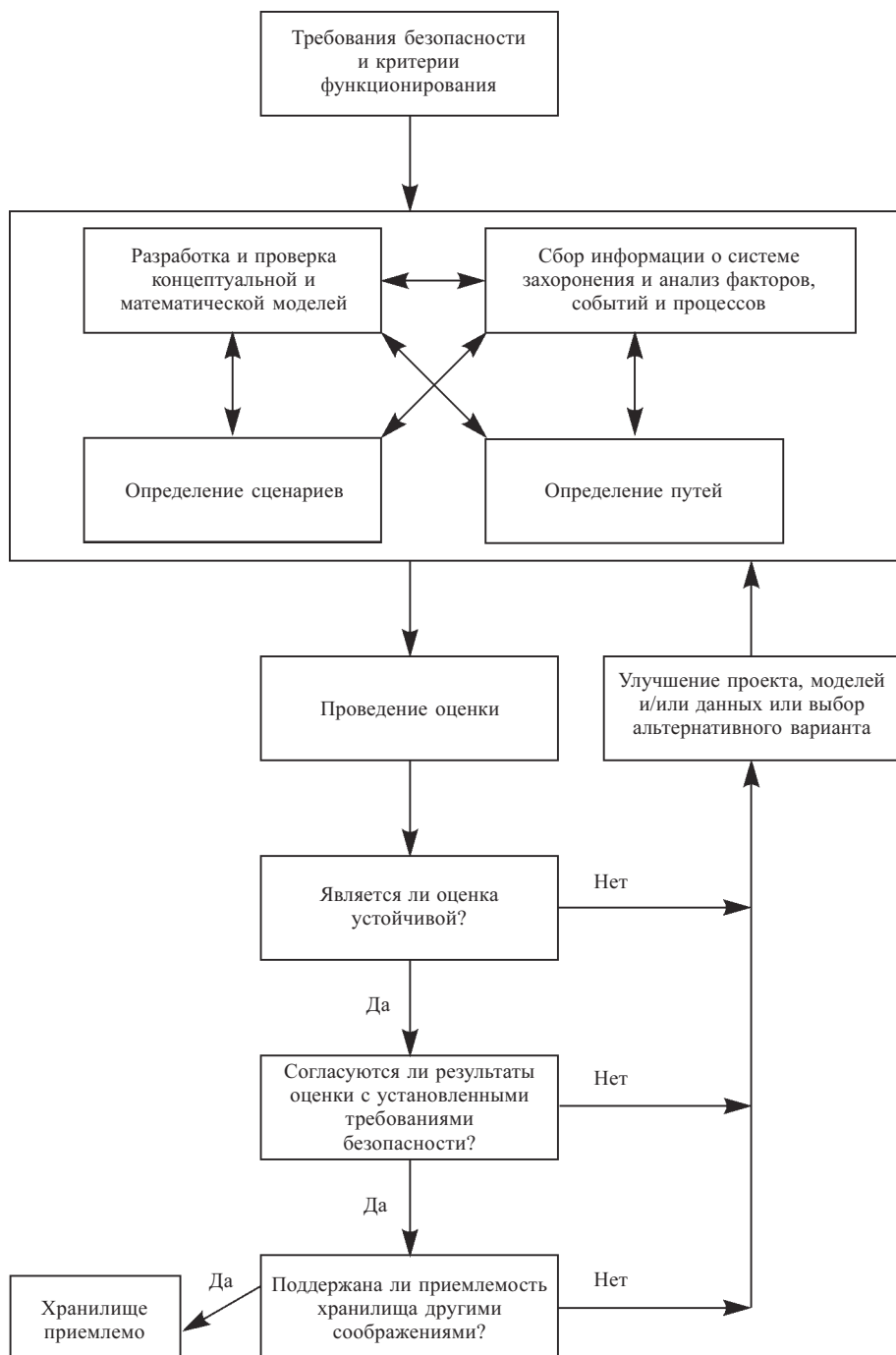


РИС. 1. Итеративный подход к оценке безопасности.



2.12. Оценка безопасности и связанные с ней условия лицензирования в большой степени определяют основные методы контроля и требования к хранилищу. Например, при установлении требований приемлемости отходов для размещения в хранилище оценку безопасности следует использовать для определения требований к упаковкам отходов, а также к количеству и активности отходов как в отношении отдельных упаковок, так и площадки в целом. Оценку безопасности также следует применить при рассмотрении путей потенциального облучения и при определении и пересмотре программы мониторинга окружающей среды для площадки и прилегающей местности. Оценку безопасности следует проводить на основании реального(ных) или предлагаемого(мых) проекта(ов) хранилища и мер по управлению площадкой на этапе эксплуатации и в период активного административного контроля, если таковой будет установлен, после его закрытия [2].

## ИТЕРАТИВНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

### Общие положения

2.13. Рекомендуемый подход к оценке безопасности схематично представлен на рис.1. Этот подход включает следующие действия, которые обычно выполняются в цикле и/или параллельно:

- определение целей оценки, требований безопасности и критериев функционирования;
- сбор информации и описание системы захоронения, в том числе формы отходов, характеристик площадки и инженерных сооружений;
- определение факторов, событий и процессов (ФСП), которые могут оказать влияние на функционирование хранилища в долгосрочной перспективе;
- разработка и проверка концептуальных и математических моделей поведения системы и ее компонентов;
- определение и описание соответствующих сценариев;
- определение путей, потенциально приводящих к переносу радионуклидов из хранилища в окружающую среду и воздействию на человека;
- проведение оценки путем концептуального и математического моделирования;
- анализ устойчивости оценки;
- сравнение результатов оценки с установленными требованиями безопасности;
- дополнительные соображения.

2.14. Ключевой проблемой при оценке безопасности хранилища является обеспечение доверия к результатам моделирования. Концептуальная модель приповерхностной системы захоронения представляет собой описание ее общих

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

свойств и их подробных характеристик. Одними из наиболее важных свойств являются те, которые определяют относительную значимость возможных маршрутов переноса радионуклидов, известных как пути. Предполагается, что с течением времени характеристики системы изменятся под влиянием природных явлений и человеческой деятельности. Описание будущих событий называется сценарием. В сценариях рассматриваются природные явления и постепенные или внезапные изменения условий, которые могут с течением времени привести к изменению функционирования хранилища. Эти ситуации, которые могут возникнуть в будущем, в случае приповерхностного захоронения обычно оцениваются путем моделирования функционирования сооружения в предполагаемых условиях [8, 9]. Следует обеспечить устойчивость оценки безопасности хранилища, т. е. ее устойчивость к неопределенностям. Следует провести сравнение результатов оценки, включая идентификацию неопределенностей (погрешностей), с целями проекта и регулируемыми критериями, учитывая другие аргументы и соображения, имеющие отношение к вопросу о приемлемости хранилища.

2.15. Установление характеристик системы и описание путей требуют сбора соответствующих данных посредством полевых или лабораторных экспериментов. Анализ сценариев требует идентификации и определения тех явлений, которые могут инициировать или усиливать выход радионуклидов из хранилища и приводить к облучению людей. На протяжении всего итеративного процесса оценки безопасности может потребоваться дополнительный сбор данных, который будет сосредоточен на параметрах, определенных как параметры, важные для безопасности хранилища.

### **Процесс оценки безопасности**

2.16. В качестве первого шага процесса следует выполнить отборочные (скрининговые) расчеты с целью оценить предлагаемую концептуальную модель и сосредоточить внимание на соответствующих радионуклидах, путях и механизмах выхода, которые требуют дальнейшего изучения. Для отборочных расчетов требуются лишь ограниченные данные по характеристикам упаковок отходов, а также по определению основных путей выхода радионуклидов. Эти данные могут быть получены, например, из литературных источников, технических требований к материалам, лабораторных исследований и исследований природных аналогов, предэксплуатационного мониторинга окружающего района и предварительных исследований площадки и характеристик отходов. Процесс следует продолжить путем сбора дополнительных данных, например, с помощью полевых и лабораторных исследований и соответствующего моделирования по мере разработки проекта, до тех пор пока не будет достигнута обоснованная уверенность в способности хранилища отвечать установленным требованиям безопасности и хранилище не будет принято, или до тех пор, пока изучаемая концепция не будет окончательно определена как неприемлемая.

2.17. Во время этого процесса следует идентифицировать соответствующие сценарии [9, 10]. Чтобы определить значение каждого сценария для оценки хранилища и площадки, возможно, потребуются исследования в обоснование воз-

возможного выбора и дополнительный сбор данных и проведение дальнейших итераций процесса оценки безопасности. Такие исследования и анализы могут оказаться полезными также для уменьшения неопределенностей (погрешностей) при попытке получить количественные характеристики событий и явлений, которые приводят к выходу и переносу радионуклидов. Даже если оценки безопасности являются устойчивыми, т. е. основываются, например, на ясно определенных консервативных допущениях и, как таковые, утверждаются регулирующим органом, долгосрочные прогнозы неизбежно приведут к большей неопределенности. Следовательно, может потребоваться период сравнения результатов полевого мониторинга со значениями параметров, используемыми в анализах. Поэтому обычно считается полезным продлить проведение мониторинга и на период активного контроля (или на его часть), и зачастую это является регулирующим требованием. В таком случае программу мониторинга после закрытия хранилища следует разработать таким образом, чтобы она отвечала потребностям, определенным в процессе оценки безопасности.

### **3. РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ**

#### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

3.1. Оценка безопасности требует разработки как качественных, так и количественных аргументов, зависящих от результатов составления характеристики площадки, характеристик отходов, данных проекта и математического моделирования. В свою очередь, результаты оценок обеспечивают необходимые исходные данные для принятия решений на протяжении всей разработки систем захоронения. Необходимо, чтобы допущения и суждения, на которых основывается оценка безопасности, были устойчивыми и доступными широкому кругу заинтересованных сторон с целью обеспечения доверия к результатам оценки безопасности.

3.2. При оценке безопасности следует рассмотреть достоверность выходных данных математических моделей с учетом неопределенностей входных данных моделей, допущений в пределах различных частей моделей, допущений относительно взаимосвязей между отдельными частями общей модели и относительно неопределенностей, относящихся к долговременной эволюции систем захоронения. Все эти неопределенности следует изучить с помощью анализа чувствительности и анализа неопределенности, дополненных другими средствами укрепления доверия (см. раздел 4) и, в соответствующих случаях, мнениями экспертов.

3.3. Привлечение мнений экспертов и осуществление других действий по оценке безопасности, направленных на обеспечение обоснованной уверенности в том, что приповерхностная система захоронения отвечает регулирующим нормам, следует начинать на самых ранних этапах разработки хранилища (см. пункт 2.8).

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

3.4. Раздел 3 содержит общее руководство, позволяющее оператору и регулируемому органу установить необходимую основу оценки безопасности и выработать конкретные руководящие принципы для различных мероприятий, входящих в оценку безопасности приповерхностных хранилищ в соответствии с международными рекомендациями и национальными регулирующими требованиями.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ

3.5. Оценка безопасности играет центральную роль и может быть использована для многих целей при разработке приповерхностного хранилища (см. раздел 2). Поскольку такое многоцелевое использование может требовать различной степени подробности анализа и подразумевает различные потребности в данных или различное представление результатов для столь разных заинтересованных групп, как технические специалисты и непрофессионалы, следует ясно определить цель оценки безопасности в соответствии с ее конкретным применением.

3.6. Одним из конечных продуктов проведения оценок являются численные результаты, используемые для сравнения прогнозируемого функционирования системы с установленными критериями. Это требует правильного определения и, на базе соответствующих данных, тщательного исследования всех важных факторов, событий и процессов. Пониманию поведения системы захоронения и ее взаимодействия с природной и окружающей человека средой способствует разработка ряда нескольких моделей. Количественный расчет эффектов требует математического моделирования, обеспеченного использованием компьютерных программ. Модели до определенной степени упрощаются в зависимости от цели разработки каждой модели. Следует тщательно рассмотреть, какая степень сложности необходима для модели (или – насколько сложной должна быть модель), поскольку самая сложная и подробная модель совсем не обязательно является лучшей для конкретной цели.

### ТРЕБОВАНИЯ К ДАННЫМ

#### Типы данных

3.7. Количество и качество требуемых данных зависят от цели оценки. Для предварительной оценки, вероятно, потребуются только простые модели, использующие уже имеющиеся данные. Результаты, как правило, используются в качестве ориентиров для будущих исследований [9]. В этом случае требуется лишь ограниченная оценка неопределенностей результатов. На завершающей стадии проектирования и при лицензировании определенных этапов жизненного цикла хранилища оператору следует сопроводить свою заявку оценкой безопасности, основанной на достаточном и, вероятно, большом количестве данных гарантированного качества, описывающих площадку, проект хранилища и характеристики отходов. Хотя программу и процедуры обеспечения качества сле-

дует устанавливать (и начинать выполнять) уже с самого начала проведения оценки безопасности, признано, что на начальном этапе проектирования и на этапе проведения предварительных исследований по созданию хранилища нет необходимости использовать настолько подробные и точные данные. Оператору следует тщательно планировать программу сбора данных, чтобы обеспечить достижение целей эффективным с точки зрения затрат путем.

3.8. При проведении оценки безопасности требуются данные из нескольких источников, степень подробности которых и погрешности зависят от целей конкретной оценки безопасности. Обычно требуются следующие данные:

- a) характеристики отходов (радионуклидный состав как функция времени, общее количество и активность, физические и химические характеристики, включая скорости газообразования, параметры массопереноса в условиях захоронения);
- b) характеристики контейнера (механические и химические характеристики в условиях захоронения);
- c) характеристики хранилища (размеры, материал засыпки/буферный материал, конструкционный материал, инженерно-технические средства);
- d) характеристики площадки (геологические, гидрогеологические, геохимические, климатические условия);
- e) характеристики биосферы (природная среда обитания, атмосферные условия, условия водной среды);
- f) демографические и социально-экономические характеристики (землепользование, традиции питания, распределение населения)

### **Сбор и использование имеющихся данных**

3.9. На этапе проведения предварительных и отборочных (скрининговых) расчетов обычно требуются данные, которые могут быть взяты из литературных источников, технических спецификаций на оборудование и получены в результате очень ограниченных исследований данной конкретной площадки и проекта. Эти данные могут использоваться для выполнения предварительных анализов и для разработки предварительных проектных решений. На основе этих данных разрабатывается базовая концептуальная модель приповерхностной системы захоронения. На этом этапе предварительная оценка безопасности может служить в качестве проверки способности системы функционировать соответствующим образом. Поскольку на этом этапе оценки безопасности обычно в распоряжении имеется небольшое количество данных весьма ограниченной степени подробности, уместно использование простых моделей.

### **Программа сбора данных**

3.10. Сбор данных имеет целью получение необходимой информации с использованием концептуального проекта, имеющихся знаний о площадке и результа-

тов предварительной оценки безопасности приповерхностной системы захоронения. На основе предварительного проекта, имеющейся информации о характеристиках площадки и предварительной оценки, как правило, вполне возможно начать определение того объема необходимых сведений, которые образуют базу обеспечения безопасности в соответствии с регулируемыми требованиями. В программе сбора данных следует установить непосредственные связи между оценкой безопасности и сбором данных, характеризующих площадку. Например, если при прогнозировании выявляется роль трещин в переносе радионуклидов подземными водами, то потребуются установление соответствующих характеристик системы трещин, таких как проницаемость, связность и направленность трещин. Если предварительная оценка безопасности показывает, что при предполагаемых количестве и активности отходов удержание геологической средой играет незначительную роль в снижении концентраций загрязнителя в местах их воздействия, то не следует тратить усилий на его дальнейшее рассмотрение. Если долгосрочная стабильность сооружения зависит от механических свойств упаковки отходов, от несущей способности геологической среды или сейсмической активности, при сборе данных особое внимание следует уделить получению этой информации.

3.11. Результаты оценки безопасности могут выявить необходимость дополнительной информации. Анализы чувствительности и неопределенностей могут показать, что результаты оценки безопасности особенно чувствительны к одному параметру. Тем самым будет определена необходимость дополнительного исследования, результатом которого, возможно, будут более тщательное и точное определение этого параметра или изменения в проекте или моделях. Сбор дополнительных данных может быть продолжен, например, для обеспечения большего доверия к результатам оценки.

#### **Данные предэксплуатационного мониторинга**

3.12. Для приповерхностного хранилища следует определить условия окружающей среды в качестве базы для измерения характеристик во время эксплуатации и в период мониторинга после закрытия. Обычно выполняются измерения фона для радионуклидов и для определенных других параметров-индикаторов. Они могут включать данные, относящиеся к поверхностной гидрологии, местному климату или химии подземных вод. В ходе предэксплуатационного мониторинга можно также получить важные данные для оценки безопасности и обеспечить исходные контрольные данные, которые могут использоваться для сравнения при проведении проверки модели.

3.13. Параметры площадки, которые, как ожидается, будут изменяться во времени и которые используются для калибровки моделей гидрологического потока или моделей атмосферного переноса, применяемых при оценке безопасности, следует измерять с периодичностью, которая позволяет оценить их изменчивость. Для некоторых параметров может оказаться важным определение предельных значений параметра для всего диапазона его изменения. Это может

потребовать длительного периода измерения. Также, поскольку часто между сбором данных о площадке, анализом данных и подготовкой документации по лицензированию и рассмотрением регулирующим органом проходит какое-то время, следует составить планы по продолжению измерений изменяющихся во времени параметров на протяжении всего этого периода, когда это необходимо, для повышения надежности имеющейся информации.

#### **Данные мониторинга в периоды эксплуатации и после закрытия хранилища**

3.14. Данные мониторинга на этапе эксплуатации могут выявить отличия от прогнозируемых условий. В этом случае следует рассмотреть возможность изменения эксплуатационных процедур или осуществления других корректирующих действий. Следует установить причины таких различий и использовать эту информацию для улучшения понимания системы. Затем следует пересмотреть систему мониторинга. Если наблюдаются существенные отклонения от прогнозируемых условий, для подтверждения того, что цели проекта по-прежнему выполняются, может потребоваться проведение новой оценки безопасности.

3.15. Мониторинг в период после закрытия хранилища следует использовать для того, чтобы убедиться в отсутствии неприемлемого радиационного воздействия [2] и для подтверждения некоторых других аспектов функционирования системы. Например, можно осуществлять контроль инфильтрации через инженерные покрытия/перекрытия и сравнивать его данные с прогнозированными значениями для проверки обоснованности использованных моделей. Однако в национальных программах обычно не предусматривается использование данных мониторинга после закрытия для подтверждения оценок расчетных значений доз. Это объясняется тем, что в общем случае оцениваемые последствия незначительны и, по прогнозам, проявятся в весьма отдаленном будущем.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМЫ**

3.16. Оценка безопасности системы приповерхностного захоронения базируется на комплексном научном подходе к определению системы и на систематическом анализе возможных сочетаний событий и процессов, которые могут оказать воздействие на функционирование системы захоронения [11]. Описание системы приповерхностного захоронения требует информации по характеристикам отходов, конструкции хранилища и свойствам площадки, оно является базой для разработки концептуальной модели системы захоронения отходов, сценариев ее возможного поведения и оценки потенциальных путей миграции радионуклидов.

#### **Разработка концептуальной модели**

3.17. Конечной целью разработки концептуальной модели является создание основы, которая позволит судить о поведении системы захоронения в целом. По



## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

возможности, модель должна быть достаточно подробной, с тем чтобы можно было разработать такие математические модели, которые описывали бы поведение системы и ее компонентов, что обеспечит, таким образом, оценку функционирования системы во времени. На разных этапах проведения итеративной оценки безопасности и принятия, в конечном счете, решения о лицензировании потребуются различные уровни детализации. Модель, насколько это возможно, должна быть простой, но при этом достаточно подробной, чтобы адекватно представлять поведение системы в целях установления ее соответствия требованиям безопасности.

3.18. В разработку концептуальной модели следует включить следующие этапы:

- a) Идентификация и характеристика отходов в отношении количества и активности, формы отходов и упаковки. Эта информация должна быть достаточно подробной, с тем чтобы можно было правильно моделировать выход радионуклидов, т. е. задать параметры источника. Следует, как минимум, обеспечить информацию для обоснования простой модели выхода, например, в допущении, что выход радионуклидов происходит с постоянной скоростью или определенными долями каждый год. Концептуальная модель источника может быть улучшена в ходе итераций, по мере того как будет получено больше информации об отходах и системе захоронения.
- b) Характеристика площадки захоронения в отношении необходимых параметров, включая данные по геологии, гидрогеологии, геохимии, тектонике и сейсмике, поверхностные процессы, метеорологию, экологию и распределение местного населения и его социальную и экономическую деятельность. Эта информация о площадке требуется для определения путей распространения радионуклидов и мест/объектов воздействия и разработки, таким образом, концептуальной физической, химической и биологической модели площадки.
- c) Технические характеристики проекта. До начала оценки следует конкретизировать конструкцию в отношении применяемых материалов и компонентов системы. Изменения в проекте, сделанные либо на основании оценки безопасности, либо по иным соображениям, могут потребовать корректировки оценки безопасности.
- d) Расширение знаний о площадке может выявить возможность существования одной или нескольких реальных альтернативных концептуальных моделей и необходимость их рассмотрения. В тех случаях, когда альтернативные модели были рассмотрены и отвергнуты, следует четко документально зафиксировать и, если целесообразно, отразить в оценке безопасности причины такого решения.

### **Разработка математической модели**

3.19. Разработка математической модели на основе концептуальной модели является важным этапом, в ходе которого концептуальная модель выражается количественно посредством математических уравнений в виде расчетной модели. Основные процедуры, применяемые для разработки таких моделей, являются об-



ТАБЛИЦА I. ЯВЛЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ХРАНИЛИЩ<sup>a</sup> (на основе [8])

---

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И СОБЫТИЯ

*Биологическое проникновение (интрузия)*

Животные  
Растения

*Сбросообразование/сейсмичность*

*Метеорологические процессы и изменения климата*

*Взаимодействие с водными средами*

Эрозия  
Затопление  
Колебания уровня подземных вод  
Поток подземных вод  
Инфильтрационная вода

*Разрушение под влиянием атмосферных воздействий*

Разрушение с течением времени  
Замораживание/оттаивание  
Увлажнение/высушивание

СОСТОЯНИЕ И ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОТХОДАМИ И ХРАНИЛИЩЕМ

Засорение дренажной системы  
Неправильное размещение отходов  
Нарушение покрывающего слоя  
Присутствие/образование химических соединений, которые могут нарушить функционирование барьеров, например комплексообразующих агентов  
Газообразование  
Уплотнение отходов и грунта  
Взаимодействие отходы/грунт

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Строительные работы  
Сельскохозяйственные работы  
Использование подземных вод  
Заселение  
Сбор и использование загрязненных материалов  
Повторное использование захороненных материалов  
Археологические изыскания  
Иные виды промышленной деятельности

---

<sup>a</sup> Этот перечень дается в качестве иллюстрации, и его не следует считать полным (см. пункт 3.21).

щепринятыми, и в ключевых областях были разработаны прогнозирующие математические модели, различающиеся уровнем детализации и сложности. Их следует применять для описания отдельных процессов, подсистем и функционирования системы в целом. При переходе от концептуальных моделей к математическим моделям и, в конце концов, к их реализации с использованием вычислительных методов могут быть внесены ошибки вследствие упрощений, приближений, допущений моделирования или примененных математических подходов. Поэтому тестирование и совершенствование моделей, используемых при оценке функционирования хранилища, следует проводить не только путем сравнения их выходных результатов с эмпирическими данными (раздел 4), но и при их разработке путем проведения независимой экспертизы/независимых экспертных оценок, сравнения с другими программами, сравнений с результатами других оценок безопасности, результатами экспериментов, выполненных для проверки определенных аспектов концептуальной и численной моделей, и сравнений с результатами расчетов в тех случаях, когда существуют аналитические решения.

### **Анализ факторов, событий и процессов (ФСП)**

3.20. Для определения тех факторов, которые могут повлиять на долгосрочную безопасность хранилища, следует проводить систематическое изучение потенциальных факторов, событий и процессов, что поможет в разработке соответствующей модели оценки безопасности. Модель оценки безопасности можно построить с помощью анализа сценариев или каким-либо альтернативным методом, таким как метод выборки в пространстве параметров.

3.21. В качестве первого этапа определения того, какие из многочисленных явлений имеют отношение к оценке безопасности, следует разработать контрольный перечень, такой как представленный в таблице I. В последнее время информация по ФСП на международном уровне была обобщена рабочими группами Агентства по ядерной энергии ОЭСР. При разработке подходящего перечня сценариев следует рассмотреть следующие группы явлений:

- 1) процессы и события природного происхождения;
- 2) процессы, относящиеся к самим отходам или к особенностям приповерхностного хранилища;
- 3) деятельность человека.

### **Анализ сценариев**

3.22. Сценарии зависят от характеристик окружающей среды и системы захоронения, а также от событий и процессов, которые могут либо стать причиной начального выхода радионуклидов из отходов, либо повлиять на их судьбу и перенос к человеку и в окружающую среду. Выбор соответствующих сценариев и связанных с ними концептуальных моделей следует сделать предметом особого внимания со стороны как оператора, так и регулирующего органа, поскольку

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

это может сильно повлиять на последующий анализ системы захоронения отходов. В некоторых странах сценарии определяются регулирующими органами, хотя оператор также может выбрать другие сценарии для анализа. В других странах оператор может выбирать сценарии, и возможно, от него могут потребовать обосновать этот выбор перед регулирующим органом.

3.23. Сценарии нормальной эволюции хранилища обычно основаны на экстраполяции существующих условий на будущее и включают изменения, которые ожидаются по прошествии времени. Поскольку возможно несколько вариантов эволюции в рамках некоего диапазона, следует разработать набор сценариев нормальной эволюции для обеспечения обоснованной уверенности в том, что реальное развитие будет происходить в пределах этого диапазона. События, возникновение которых менее вероятно, могут вызвать существенные изменения в системе и требуют разработки альтернативных сценариев. При работе с некоторыми из этих сценариев можно использовать одни и те же модели, но с пересмотренными параметрами. Для других сценариев могут потребоваться новые модели. Предполагаемый проект хранилища, вероятно, будет базироваться на сценарии нормальной эволюции, но могут потребоваться изменения проекта, которые учитывали бы результаты оценки, основанной на других сценариях.

3.24. Для того, чтобы обеспечить как можно более полное понимание системы, следует рассмотреть и документально зафиксировать широкий спектр сценариев. Однако, если есть несколько вариантов, для подробной оценки следует отобрать те сценарии, возникновение которых наиболее вероятно, или относительно маловероятные сценарии, но которые могут иметь важные последствия. В документации по оценке безопасности следует ясно обосновать отбор сценариев для подробной оценки и, где это необходимо, привести доказательства в его поддержку. Такой отбор должен способствовать наиболее эффективному использованию значительных усилий, затрачиваемых на проведение оценки, и гарантировать, что проект хранилища разработан таким образом, чтобы здоровье человека и окружающая среда были защищены наилучшим образом.

3.25. В разработанном сценарии следует обеспечить последовательное сосредоточение оценки безопасности на важных условиях и явлениях, относящихся к функционированию системы захоронения. Сценарий следует разрабатывать таким образом, чтобы он адекватно охватывал аспекты безопасности приповерхностного хранилища после закрытия. Для сосредоточения внимания на важных сценариях могут применяться экспертная оценка, анализ деревьев событий и деревьев отказов [8] и другие методы. Следует фиксировать ход процесса, принятые решения и рассмотренные факторы.

### **Определение путей распространения радионуклидов**

3.26. Основные пути распространения радиоактивных материалов, вышедших из хранилища как в ненарушенных (нормальных) условиях, так и в нарушен-

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

ных (отличных от нормальных) условиях, следует определить из всеобъемлющего перечня потенциальных путей с помощью скрининга (отбора). Опыт показывает, что при нормальном функционировании приповерхностного хранилища, вероятно, лишь несколько путей будут иметь реальное значение. Эти пути включают подземные воды, почву, наземные растения, наземных животных, поверхностные воды, водных животных и пути выхода газообразных веществ. При нарушенных условиях функционирования к этому перечню добавляется перенос суспендированного (взвешенного в воздухе) радиоактивного материала и прямое облучение.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ

#### Расчеты моделей

3.27. Когда все соответствующие сценарии и пути поступления нуклидов к человеку выявлены, следующим этапом процесса оценки безопасности является анализ последствий. Он включает разработку и применение моделей переноса и облучения для расчета потенциального воздействия выхода радионуклидов из хранилища или воздействия нарушения нормальных условий хранилища на людей и окружающую среду.

3.28. Использование модульного принципа представления систем может оказаться эффективным для моделирования потенциального выхода и переноса радионуклидов по выбранным путям в окружающей среде к человеку. Тем самым будет обеспечена возможность проверки подмоделей в целях понимания того, как были определены оцененные дозы. Модель обычно состоит из следующих отдельных подмоделей: инфильтрация и выщелачивание, газообразование, перенос в ближнем поле в пределах и около камер захоронения, перенос газами и перенос подземными водами, перенос поверхностной водой, атмосферный перенос, поглощение растениями и животными и облучение людей. Модульный подход также позволяет проявлять гибкость и сосредоточивать усилия на тех частях системы, которые требуют сложного моделирования для обеспечения технической приемлемости результатов. Выгода от применения этого подхода может быть значительной, если для обеспечения дополнительной уверенности в том, что площадка захоронения и хранилище будут функционировать приемлемым образом, используют сложные модели.

3.29. Задаваемую мощность источника радиоактивности, используемого в моделях, следует делать репрезентативной, т. е. включающей возможные механизмы выхода радионуклидов из различных форм отходов в установленном диапазоне условий окружающей среды, и следует учесть разрушение инженерных барьеров, таких как защитные системы покрытия и бетонные сооружения. Первоначальные модели, вероятно, будут простыми, но по мере разработки концепции системы может возникнуть необходимость использования более под-

робных моделей для обеспечения адекватного представления системы. Однако следует использовать достаточно простые модели, которые были бы совместимы и соразмерны с имеющимися данными; в противном случае это может привести к еще большей неопределенности результатов, а не к увеличению точности. В этом случае следует использовать мнение экспертов, чтобы обеспечить надлежащее соотношение между применением простых моделей и имеющихся данных и более подробных моделей, для которых могут потребоваться данные, получение которых затруднено. Это не препятствует использованию более сложных моделей в отношении частей системы для улучшения понимания рассматриваемых явлений. Примерами таких сложных моделей могут быть применение программ расчета методом конечных элементов при моделировании подземных вод для оценки гидрологических граничных условий и изменений уровней воды во времени, если физические характеристики или мониторинг подземных вод вызывают необходимость в понимании изменений в системе более сложного характера.

3.30. С самого начала моделирование при оценке безопасности следует проводить на основании разумного консерватизма, который может выдержать научную проверку. Вероятно, более эффективным, более понятным и более обоснованным является подход с использованием простых моделей. Допущения следует формулировать на основе имеющихся данных и знаний о системе или об аналогичных системах и отбирать их таким образом, чтобы не было недооценки выхода и переноса радионуклидов или, если потребуется, недооценки облучения человека, непреднамеренно вторгнувшегося в хранилище. Поскольку принятие результатов может быть самым трудным аспектом оценки безопасности, любой подход, способствующий упрощению процесса принятия результатов, принесет долговременную пользу. Вероятно, наилучшей отправной точкой для оценок является подход, в котором сбалансированы простота, консерватизм и реализм.

3.31. Следует обеспечить, чтобы выбранная модель соответствовала цели оценки безопасности, была простой в применении (с учетом сложности системы) и могли быть получены данные, требуемые для ее разработки. Кроме того, следует обеспечить, чтобы модель соответствовала данному практическому применению, чтобы точность ее алгоритмов могла быть продемонстрирована, допущения обоснованы, а исходные данные представительны.

3.32. Выбранный подход к моделированию следует полно и четко документально зафиксировать вместе с вопросами, рассмотренными в ходе его разработки. В документации следует отразить все допущения и решения, принятые в процессе разработки и применения метода моделирования, и обеспечить возможность проследить процесс их принятия. Следует включить в нее причины отказа от тех или иных альтернативных моделей, рассмотренных в процессе разработки метода моделирования.

## Неопределенность

### *Общие положения*

3.33. Неопределенность присуща любой оценке безопасности. Анализы чувствительности и неопределенности имеют важную цель — расширить понимание и уменьшить, где это возможно, неопределенность некоторых результатов оценки безопасности, направляя внимание на более точное определение тех параметров, которые сильнее всего влияют на результаты и их неопределенность. Анализы чувствительности и неопределенности тесно взаимосвязаны. Анализ чувствительности следует использовать для определения тех параметров, компонентов системы или процессов, которые оказывают существенное влияние на прогнозируемое функционирование системы захоронения. Определение чувствительных компонентов концептуальной модели и важных сценариев обычно осуществляется путем применения метода систематической вариации параметров. Для каждого сценария может потребоваться свое распределение параметров. Часто для исследования поведения системы в условиях неопределенности используются граничные значения для предполагаемого случая. Для исследования всего диапазона ожидаемого изменения параметра могут также использоваться статистические методы [8, 9].

3.34. Вообще говоря, при оценке безопасности приповерхностного хранилища следует рассмотреть два основных источника неопределенности. Одним из источников является то, что модель лишь в некоторой степени представляет реальную систему. Такая неопределенность связана с входными данными модели, она присутствует в описании системы захоронения, характеристиках площадки, инженерно-технического обеспечения хранилища и в их взаимодействии с окружающей средой, а также присуща самому моделированию. Другой источник неопределенности относится к непредсказуемости действий человека в будущем и эволюции сооружения и окружающей его среды по прошествии длительных периодов времени.

3.35. Первый источник неопределенности следует уменьшать путем повышения качества определения характеристик площадки и данных об отходах, деталей конструкции сооружения, выбором концептуальной модели и сценариев. Следует поставить целью оценку и уменьшение этой неопределенности либо до уровня, который считается приемлемым, либо до уровня, который, как показывает анализ, не является значимым в контексте функционирования приповерхностного хранилища. Второй источник неопределенности следует изучить, чтобы понять, к чему может привести эта неопределенность в будущем. Результаты такого изучения могут обеспечить обоснованную гарантию того, что система захоронения будет безопасной, даже если выходные данные модели могут содержать неопределенности. Таким образом, основным значением анализов чувствительности и неопределенности для регулирующих решений является их использование в качестве инструмента для оценки соответствия требованиям

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

по безопасности в условиях неопределенности. Само собой разумеется, что если соответствие нормам безопасности может быть показано какими-либо другими средствами, например использованием явно консервативной модели, то анализ неопределенностей может и не потребоваться.

3.36. Основным источником неопределенности при разработке сценариев обусловлен возможностью пропустить важный сценарий. В этом случае для снижения неопределенности такого рода при рассмотрении сценариев следует использовать независимые экспертные оценки.

3.37. Аналогичным образом, неопределенность разработки концептуальных и числовых моделей площадки следует оценивать с помощью независимой экспертизы. Общей тенденцией является использование простых моделей вследствие простоты их объяснения и эффективности вычислений. Неопределенность, связанную с упрощениями при разработке концептуальной и числовой моделей, часто можно определить изучением дополнительных моделей и сбором данных. С другой стороны, к более детальному пониманию системы могут привести модульный подход и тщательный анализ результатов промежуточных расчетов. В свою очередь, это может привести к общему снижению неопределенности модели. Однако чересчур сложная модель требует большего количества данных, а эти данные могут содержать неопределенности и привести к большей неточности результатов или вообще к невозможности их получения.

3.38. Неопределенность, присущая характеристикам хранилища, возникает в результате попытки прогнозировать будущие события. Некоторыми из этих неопределенностей можно пренебречь после тщательного исследования экстремальных или граничных сценариев или по результатам вероятностных оценок, но только если они незначительно влияют на функционирование системы захоронения. Другие неопределенности, в частности связанные с действиями человека, продиктованными социально-экономическими условиями, или со значительными изменениями климатических условий, могут оказать существенное влияние на облучение людей в будущем, однако они не поддаются количественному прогнозированию. Хотя в таких обстоятельствах можно сделать только качественные заключения, все же имеется возможность указать на несколько факторов, обеспечивающих безопасность, и по каждому фактору дать пояснение, будет ли он продолжать действовать при растущей неопределенности с течением времени. Оценка безопасности основана на концептуальной модели, первичной целью которой является обеспечение общей схемы, позволяющей проводить анализ. В тех случаях, когда могут быть созданы подходящие математические модели и существуют данные, оценка безопасности может быть количественной. Если это невозможно, то следует проводить качественную оценку. Это не лишает процесс оценки его значения, но делает его более зависимым от качественных суждений экспертов, поддержанных, где это возможно, расчетами. Однако в рамках этой общей схемы следует тщательно документировать основания высказанных экспертами суждений для их анализа в качестве состав-

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

ной части оценки безопасности. Также следует позаботиться о достоверности имеющейся информации, ибо это отражается на уровне выполнения расчетов, проводимых в рамках оценки, и на интерпретации результатов, которая, таким образом, может меняться в зависимости от длительности рассматриваемого периода времени в будущем (см. пункты 2.9 и 3.45).

### *Анализ чувствительности*

3.39. Следует провести анализ системы, чтобы определить, как и в какой степени прогнозируемое поведение приповерхностного хранилища зависит от используемой концептуальной модели, применимых к модели сценариев и изменения параметров, используемых для описания системы в качестве входных данных модели. Если результаты чувствительны к начальным и граничным условиям, могут понадобиться более обширные данные, для получения которых, возможно, потребуется провести повторные измерения на площадке. В процессе этого следует определить чувствительность модели к различным обоснованно ожидаемым сценариям и путям облучения. Если установлено, что оценка безопасности чувствительна к этим параметрам, в дальнейшем следует их внимательно исследовать.

3.40. В качестве отправной точки анализа чувствительности при проведении оценки безопасности приповерхностных хранилищ следует рассмотреть изменение одного параметра или изменение сочетаний нескольких параметров. Следует учесть предельные, но обоснованные значения некоторых параметров, поскольку они могут изменить относительную важность различных путей поступления нуклидов и сделать модель в дальнейшем неприменимой.

3.41. Для этой задачи могут быть использованы различные методы варьирования значений параметров, но анализ следует тщательно построить для обеспечения того, чтобы сочетания, выбранные компьютерной программой, не были невозможными или физически нереалистичными. Кроме того, выходные данные выполненного анализа следует систематизировать, с тем чтобы сохранить информацию, нужную для определения чувствительных комбинаций и идентификации чувствительных параметров.

3.42. Следует использовать анализ чувствительности в целях управления итеративным процессом, применяемым для совершенствования модели, разработки сценариев и сбора дополнительных данных. Результаты анализа чувствительности следует использовать для выявления тех особенностей проекта, которые могут быть практически усовершенствованы с целью улучшения защитных свойств хранилища.

### *Анализ неопределенности*

3.43. При проведении анализа неопределенности следует рассмотреть такой вид неопределенности, как неопределенность параметров. При этом следует сосре-



доточить внимание на тех параметрах, которые, как показал анализ чувствительности, являются важными для определения результата оценки безопасности. Обычно используемые методы анализа чувствительности относятся к числу методов, которые состоят в изменении одного или нескольких параметров с целью определения границ прогнозируемого функционирования приповерхностного хранилища. Как правило, простые граничные анализы обеспечивают вполне адекватную информацию о диапазоне функционирования, но следует отметить, что из-за большой сложности систем предельные значения, полученные путем поочередного изменения параметров, не всегда могут привести к предельному поведению системы. Анализ методом Монте-Карло также может дать распределения ожидаемых результатов, основанные на статистическом анализе оценок вариаций входных параметров. При разработке распределений входных данных для анализа методом Монте-Карло и установления корреляции между параметрами необходимо получить экспертную оценку; а если необходимо, заключения экспертов следует оформить официальным образом и документировать.

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

### Общие положения

3.44. Представление результатов оценки безопасности как совокупности всей относящейся к делу информации (см. пункт 3.46) является важным для понимания и приемлемости проекта. Эти результаты будут использоваться для различных целей. В процессе принятия решений они используются главным образом для сравнения с регулируемыми нормами, применяемыми для приповерхностного хранилища. Необходимость достижения консенсуса в отношении того, что хранилище является безопасным способом захоронения для соответствующих отходов на длительное время в будущем, увеличивает важность оценки безопасности и представления ее результатов.

3.45. Поскольку результаты оценки безопасности обычно обеспечивают базу для установления требований к приемлемости отходов и к проекту хранилища, важно обеспечить информацию о функционировании компонентов системы, в особенности для проектировщиков системы и в конечном счете для регулирующего органа, чтобы проиллюстрировать уровни защиты, обеспечиваемые различными частями системы хранилища. Выходные данные моделей, используемых в оценках безопасности, фактически являются показателями того, что может случиться при определенных условиях, которые могут преобладать в будущем, а не реальными прогнозами. Добиться понимания этого, а также понимания сложной системы приповерхностного захоронения, состоящей из естественных и инженерно-технических компонентов (что отражено в моделях приповерхностного хранилища) различными заинтересованными сторонами очень важно; поэтому представление результатов следует тщательно подготовить.

## **Сравнение с регулируемыми нормами**

3.46. Наиболее распространено использование результатов оценки безопасности в качестве доказательства соответствия регулирующим требованиям (см. раздел 2). В этих целях для обоснования выходных данных оценки безопасности требуется следующее:

- четкое описание площадки, выбранного проекта, количества и характеристик отходов для захоронения;
- тщательное обсуждение концептуальной модели и физического основания для модели;
- обсуждение рассмотренных альтернативных моделей и причин отказа от этих моделей;
- основание для выбора или разработки сценариев и путей поступления радионуклидов;
- документация по допущениям и обоснованиям использованных упрощений;
- краткий обзор входных данных моделей и компьютерных программ;
- использованные фактические данные, их источник и обоснование;
- интерпретация результатов.

В документацию по результатам оценки безопасности следует включать информацию о неопределенностях и выводы анализов чувствительности и неопределенности.

## **Функционирование компонентов системы**

3.47. Результаты оценки безопасности следует представлять в таком виде, чтобы обеспечить демонстрацию функционирования отдельных компонентов (составляющих частей) системы. Подобное полезное представление результатов нетрудно осуществить, если при моделировании использован модульный подход. Демонстрация ожидаемого поведения каждого компонента и итеративное совершенствование его конструкции или улучшение знаний относительно ожидаемого поведения компонента для обеспечения его эффективного функционирования повышает уровень доверия к функционированию системы в целом.

## **Будущие радиационные воздействия**

3.48. Результаты оценки безопасности следует представлять в таком виде, чтобы было возможно рассмотреть изменения прогнозируемых воздействий с течением времени. Этот подход может быть особенно полезным, поскольку прогнозы являются лишь показателями функционирования приповерхностного хранилища, и демонстрация эволюции во времени воздействий хранилища может внести вклад в достоверность результатов оценки безопасности. В любом случае он может быть полезен, чтобы показать, как вообще эффект радиоактивного

распада ведет к снижению воздействия с течением времени. Этот подход также следует применять при сравнении долговременных радиационных воздействий с уровнями естественной радиации, например, чтобы в сравнении показать, какое воздействие оказывает захоронение долгоживущих радионуклидов в приповерхностном хранилище.

### **Уровень представления**

3.49. Для представления сложного характера системы приповерхностного захоронения иногда необходимо использовать сложные модели. Представление и объяснение этих моделей может быть трудным для понимания, в особенности для населения. Кроме того, лицензирование приповерхностного хранилища может служить основанием для рассмотрения дела в суде. Поскольку обсуждение результатов сложного моделирования в суде может оказаться весьма затруднительным, следует дополнить подход с использованием сложного моделирования упрощенной моделью для пояснительных целей.

3.50. Хотя при таком упрощении могут быть утрачены некоторые детали, демонстрация эквивалентности простого и сложного методов возможна, если можно показать, что упрощение в действительности привело к тому, что оценка безопасности сосредоточилась на критических факторах, относящихся к безопасности системы. Такой подход часто называют устойчивым (робастным) моделированием системы. Следует продемонстрировать, что в результате устойчивого моделирования с использованием простых моделей и минимума данных получают надежные оценки поведения системы. Также следует продемонстрировать, что эти модели устанавливают границы поведения системы. Как правило, отвечающее вышеупомянутой цели упрощение требует очень хорошего понимания системы приповерхностного хранилища и ее функционирования. При условии, что это понимание может быть продемонстрировано, простые устойчивые модели и методы оценки безопасности, использующие качественные данные, легче объяснить общественности, чем сложные модели, требующие большого количества данных.

## **4. УКРЕПЛЕНИЕ ДОВЕРИЯ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

4.1. Оценки безопасности обеспечивают базу для рациональных и технических обоснованных решений в процессе создания хранилищ отходов. Как было показано в предыдущих разделах, оценки безопасности играют определенную роль на различных этапах процесса. Предварительные оценки могут быть использованы при выборе площадки. Ожидается, что оценки безопасности обеспечивают входные данные для проекта хранилища и позволяют определить тре-

бования к приемлемости отходов для конкретного хранилища. Наконец, лицензирование хранилища хотя бы отчасти должно основываться на выходных данных оценки безопасности.

4.2. Следует обеспечить доверие со стороны научных кругов, регулирующих органов, лиц, принимающих решение, и других заинтересованных сторон к информации, исследованиям и результатам оценок безопасности. В данном разделе обсуждается, что может быть сделано для того, чтобы результаты оценок безопасности имели высокую степень доверия. Действия, способствующие укреплению доверия, включают: 1) проверку, калибровку и, где возможно, подтверждение достоверности моделей; 2) исследование соответствующих природных аналогов; 3) обеспечение качества; и 4) независимую экспертизу.

#### ПРОВЕРКА, КАЛИБРОВКА И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МОДЕЛЕЙ

4.3. Оценки безопасности базируются на моделях хранилища и его природного окружения. Эти модели используются для моделирования эволюции системы и для определения последствий ряда сценариев. Работа по моделированию включает разработку концептуальных моделей и математических моделей, а также соответствующих компьютерных программ или других методов расчета. Доверие к результатам моделирования зависит от ответов на два вопроса. Первый вопрос: точно ли решаются математические уравнения, описывающие модель, при данном методе расчета? Для ответа на этот вопрос применяется процесс проверки. Второй вопрос: с достаточной ли точностью модель воспроизводит результаты полевых и/или экспериментальных исследований? Для ответа на этот вопрос применяются калибровка и подтверждение достоверности модели с использованием различных наборов данных.

#### Проверка

4.4. Проверка метода расчета достигается путем решения тестовых задач, предназначенных для демонстрации того, что уравнения в математической модели решаются удовлетворительно. Посредством использования тестовых задач и обратной связи от иного применения метода можно достичь высокого уровня доверия к корректности его математического обеспечения и к тому, что уравнения правильно запрограммированы и верно решаются. Эффективным подходом также является сравнение результатов различных методов при решении одной и той же задачи и использовании одних и тех же входных параметров. Поэтому проверка методов расчета является возможной, и ее следует использовать для укрепления доверия к оценкам безопасности. Сравнение на международном уровне (международное сличение) и проведение независимых экспертиз (см. пункты 4.9, 4.10 и 4.11) оказывают существенную помощь в формировании позитивного отношения населения к хранилищу.

## **Калибровка**

4.5. Калибровка имеет целью уменьшение неопределенности в концептуальной и численной моделях и параметрах и осуществляется путем сравнения прогнозов по модели или подмодели с полевыми наблюдениями и экспериментальными измерениями. Таким образом, калибровка представляет собой относящуюся к конкретной площадке процедуру, посредством которой проводится сравнение результатов прогнозов с результатами наблюдений, проведенных на этой площадке, с использованием наборов входных данных для конкретной площадки. На практике, если модель может быть успешно откалибрована для разнообразных условий, специфичных для площадки, то можно с большой степенью доверия относиться к способности модели представлять аспекты поведения системы в этих условиях и, следовательно, ее способности оценить их воздействия в ситуациях, когда их невозможно измерить. Однако в процессе калибровки часто сталкиваются с одной трудностью, которая состоит в том, что различные концептуальные модели и относящиеся к ним наборы входных данных дают результаты, которые одинаково хорошо согласуются с полученными путем наблюдения данными. Это ограничивает снижение неопределенности, которое может быть достигнуто.

## **Подтверждение достоверности**

4.6. Следует показать, насколько это возможно, что выходные данные моделирования являются достоверными, т. е. соответствуют эмпирическим данным, полученным в реальной ситуации. В отличие от калибровки, которая представляет собой более специфичный для конкретной площадки процесс отладки модели, подтверждение достоверности в большей степени связано с подтверждением достоверности результатов, полученных для различных площадок или для широкого диапазона условий. Хотя подтверждение достоверности моделей эволюции определенной площадки в течение длительного времени невозможно за пределами соответствующих периодов времени, ограниченное подтверждение может быть получено с помощью использования данных изучения природных аналогов или из климатических аналогов. Полезным также может быть сравнение выходных данных моделирования с наблюдениями за поведением определенных компонентов системы хранилища, например, путем сравнения с данными, полученными в натурных экспериментах (*in situ*), или с результатами измерений, выполненных в ходе исследования характеристик площадки и на этапе эксплуатации хранилища.

## **ПРИРОДНЫЕ АНАЛОГИ**

4.7. Проведенное исследование природных аналогов позволяет сравнить результаты наблюдений в природе с функционированием компонентов хранилища или с ожидаемыми процессами в системе захоронения [12]. Аналогия между природными аналогами и хранилищем отходов не является совершенной,

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

поскольку в большинстве случаев можно наблюдать лишь конечные результаты имеющих место природных процессов и существует значительная неопределенность в отношении начальных условий и их эволюции во времени.

4.8. К настоящему времени доказано, что существуют определенные трудности в применении результатов исследований природных аналогов в количественном виде для калибровки/подтверждения достоверности моделей или для получения значений параметров, используемых в этих моделях. Однако некоторые имеющие место при захоронении процессы, такие как разрушение материалов упаковки под влиянием атмосферных воздействий, ресуспендирование (повторный переход во взвешенное состояние) под действием ветра, перенос радионуклидов подземными водами и переход элементов из почвы в биоту, могут быть исследованы по соответствующим природным аналогам с адекватной степенью детализации и при соответствующем контроле граничных условий, что позволяет провести проверку некоторых моделей. Поэтому, несмотря на некоторые оговорки, следует использовать природные аналоги для укрепления доверия к различным процессам и материалам, применяемым для системы захоронения. Использование информации, полученной при изучении природных аналогов, может быть особенно полезно для повышения доверия к оценке безопасности со стороны лиц, принимающих решения, и общественности. Информацию такого рода следует использовать для обеспечения уверенности в том, что приповерхностное захоронение является безопасным.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА

4.9. Обеспечение качества представляет собой планируемый и систематически осуществляемый набор процедур для документального оформления различных этапов процесса и для обеспечения уверенности в том, что результаты процесса являются качественными. Процедуры обеспечения качества и процедуры контроля качества (ОК/КК) вводились или вводятся во многих областях обращения с радиоактивными отходами [13]. Необходимость обеспечить доверие к результатам оценок безопасности требует, чтобы процедура обеспечения качества применялась к различным элементам оценки, и в особенности к сбору данных, деятельности по проектированию, разработке моделей и методов расчета на самой ранней стадии. Такой подход с позиций обеспечения качества создает те рамки, в которых осуществляется деятельность по оценке безопасности и ее результаты документально фиксируются, подтверждая соответствие процедуре. При таком подходе можно показать, что были использованы надежные и отслеживаемые источники информации. В итоге повышается доверие к результатам оценки безопасности.

### НЕЗАВИСИМАЯ ЭКСПЕРТИЗА ОЦЕНОК БЕЗОПАСНОСТИ

4.10. В научной деятельности доверие к достоверности результатов в большой степени зависит от результатов процесса проведения независимой экспертизы.

## Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

Связанные с оценкой безопасности научные работы и результаты оценки безопасности следует публиковать в открытой литературе, с тем чтобы они были доступны для детального изучения другими экспертами, активно работающими в этой области, а также любым заинтересованным в данном предмете лицом.

4.11. Независимая экспертиза работы, составляющей основу оценки безопасности, включает формы рассмотрения, отличные от стандартной независимой экспертизы научных публикаций и результатов программ. В национальных программах обращения с радиоактивными отходами следует предусматривать возможность проведения технической экспертизы важных направлений деятельности. Регулирующему органу следует создавать свои собственные возможности для проведения экспертизы оценок безопасности. В некоторых случаях критическое рассмотрение независимыми экспертами организуют сам оператор хранилища или компетентные органы. При проведении подобных экспертиз могут дополнительно использоваться знания и опыт ученых в области естественных и социальных наук, и эти рассмотрения могут быть эффективными для повышения уровня доверия к оценке.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

4.12. Оценка безопасности приповерхностных хранилищ включает гипотетические будущие события и их последствия, поэтому не предполагается, что реализуются отдельные прогнозируемые события. Единственной реалистичной целью является обоснованная степень уверенности в безопасности, базирующаяся на оценке всех соответствующих доказательств, включая мнения специалистов и математическое моделирование, того, что хранилище будет функционировать в приемлемых границах.

4.13. Следует иметь в виду, что осуществление программы создания приповерхностного хранилища зависит от уверенности ученых, регулирующих органов и лиц, принимающих решение, в его безопасности, а также от одобрения со стороны общественности. Чтобы добиться доверия населения, в процесс разработки хранилища отходов следует включать ряд аспектов, направленных на обеспечение открытости, участия общественности и эффективной и общедоступной информации. Хорошо разработанная оценка безопасности, использующая простые, устойчивые методы оценки функционирования, примененные к адекватно обоснованной концептуальной модели, может помочь в достижении понимания и принятия населением приповерхностного хранилища.

## ССЫЛКИ

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienna (1995).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Near Surface Disposal of Radioactive Waste, Safety Standards Series No. WS-R-1, IAEA, Vienna (1999).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of Radioactive Waste, Safety Series No. 111-G-1.1, IAEA, Vienna (1994).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Siting of Near Surface Disposal Facilities, Safety Series No. 111-G-3.1, IAEA, Vienna (1994).
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste, Publication No. 77, Elsevier, Oxford (1997).
- [6] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, Серия изданий по безопасности, № 115, МАГАТЭ, Вена (1997 г.).
- [7] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Shallow Land Disposal of Radioactive Waste: Reference Levels for the Acceptance of Long-lived Radionuclides, OECD, Paris (1987).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Analysis Methodologies for Radioactive Waste Repositories in Shallow Ground, Safety Series No. 64, IAEA, Vienna (1984).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Performance Assessment for Underground Radioactive Waste Disposal Systems, Safety Series No. 68, IAEA, Vienna (1985).
- [10] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Systematic Approaches to Scenario Development, OECD, Paris (1992).
- [11] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Review of Safety Assessment Methods, OECD, Paris (1991).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Natural Analogues in Performance Assessments for the Disposal of Long Lived Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 304, IAEA, Vienna (1989).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for Radioactive Waste Packages, Technical Reports Series No. 376, IAEA, Vienna (1995).



## СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Agalèdes, P.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire, France
Allan, C.	Atomic Energy of Canada, Canada
Ando, Y.	Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Japan
Arens, G.	Federal Office for Radiation Protection, Germany
Baekelandt, L.	Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies, Belgium
Barescut, J.-C.	Institut de protection et de sûreté nucléaire, France
Berczi, K.	ETV-ERÖTERV Power Engineering & Contracting Co., Hungary
Besnus, F.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire, France
Boissonneau, J.P.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire, France
Bosser, R.	Direction de la sûreté des installations nucléaires, France
Bragg, K.	Atomic Energy Control Board, Canada
Carboneras, P.	Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, S.A., Spain
Carlsson, J.	Nuclear Fuel Cycle and Waste Management Company, Sweden
Cooper, J.	National Radiological Protection Board, United Kingdom
Dlouhy, Z.	Radioactive Waste Management and Environmental Protection Consultant Services, Czech Republic
Duncan, A.	Environment Agency, United Kingdom
Escalier des Orres, P.	Département d'évaluation de sûreté, Institut de protection et de sûreté nucléaire, France
Gera, F.	Environmental and Geoenvironmental Department, ISMES S.P.A., Italy
Grimwood, P.	British Nuclear Fuels plc, United Kingdom
Gruhlke, J.	Environmental Protection Agency, United States of America
Kawakami, Y.	Japan Atomic Energy Research Institute, Japan
Kocher, D.	Oak Ridge National Laboratory, United States of America
Lopez, C.R.	Consejo de Seguridad Nuclear, Spain

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-23.

Maloney, C.	Atomic Energy Control Board, Canada
Mobbs, S.	National Radiological Protection Board, United Kingdom
Narayan, P.	Bhabha Atomic Research Centre, India
Norrby, S.	Swedish Nuclear Power Inspectorate, Sweden
Pescatore, C.	OECD/Nuclear Energy Agency
Pinner, A.	British Nuclear Fuels Limited plc, United Kingdom
Raimbault, P.	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, France
Regnier, E.	Department of Energy, United States of America
Ruokola, E.	Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, Finland
Schaller, K.H.	European Commission
Snihs, J.-O.	Swedish Radiation Protection Institute, Sweden
Starmer, J.	ERM Program Management Company, United States of America
Stearn, S.	Her Majesty's Inspectorate of Pollution, United Kingdom
Suarez Mahou, E.	Consejo de Seguridad Nuclear, Spain
Sugier, A.	Institut de protection et de sûreté nucléaire, France
Van Dorp, F.	National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Switzerland
Vovk, I. F.	International Atomic Energy Agency
Yamamoto, H.	Japan Atomic Energy Research Institute, Japan
Zurkinden, A.	Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, Switzerland

## КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ПО ОДОБРЕНИЮ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ

### Консультативный комитет по нормам безопасности отходов

*Аргентина:* Siraky, G.; *Германия:* von Dobschütz, P.; *Испания:* Gil López, E.; *Канада:* Ferch, R.; *Китай:* Luo, S.; *Корея (Республика):* Park, S.; *Мексика:* Ortiz Magana, R.; *Российская Федерация:* Поляков, А.; *Соединенное Королевство:* Brown, S.; *Соединенные Штаты Америки:* Huizenga, D.; *Франция:* Brigaud, O.; *Швеция:* Norrby, S.; *Южная Африка:* Metcalf, P. (председатель); *Япония:* Kuwabara, Y.; *АЯЭ ОЭСР:* Riotte, H.; *МАГАТЭ:* Delattre, D. (координатор).

### Консультативная комиссия по нормам безопасности

*Австралия:* Lokan, K., Burns, P.; *Аргентина:* Beninson, D.; *Германия:* Hennenhöfer, G., Wendling, R.D.; *Испания:* Alonso, A., Trueba, P.; *Канада:* Bishop, A. (председатель), Duncan, R.M.; *Китай:* Huang, Q., Zhao, C.; *Корея (Республика):* Lim, Y.K.; *Словакия:* Lipár, M., Misák, J.; *Соединенное Королевство:* Williams, L.G., Harbison, S.A.; *Соединенные Штаты Америки:* Travers, W.D., Callan, L.J., Taylor, J.M.; *Франция:* Lacoste, A.-C., Asty, M.; *Швейцария:* Prêtre, S.; *Швеция:* Holm, L.-E.; *Япония:* Sumita, K., Sato, K.; *АЯЭ ОЭСР:* Frescura, G.; *МКРЗ:* Valentin, J.; *МАГАТЭ:* Karbassioun, A. (координатор).

# ГДЕ ЗАКАЗАТЬ ПУБЛИКАЦИИ МАГАТЭ

В указанных ниже странах публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже агентов или в крупных местных книжных магазинах. Оплата может производиться в местной валюте или купонами ЮНЕСКО.

- АВСТРАЛИЯ** Hunter Publications, 58A Gipps Street, Collingwood, Victoria 3066  
Телефон: +61 3 9417 5361 • Факс. связь: +61 3 9419 7154  
Электронная почта: [admin@tekimaging.com.au](mailto:admin@tekimaging.com.au) • Web site: [www.hunter-pubs.com.au](http://www.hunter-pubs.com.au)
- БЕЛЬГИЯ** Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Brussels • Телефон: +32 2 538 43 08 • Факс. связь: +32 2 538 08 41  
Электронная почта: [jean.de.lannoy@infoboard.be](mailto:jean.de.lannoy@infoboard.be) • Web site: <http://www.jean-de-lannoy.be>
- ВЕНГРИЯ** Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest  
Телефон: +36 1 257 7777 • Факс. связь: +36 1 257 7472 • Электронная почта: [books@librotrade.hu](mailto:books@librotrade.hu)
- ГЕРМАНИЯ** UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10., D-53113 Bonn  
Телефон: +49 228 94 90 20 • Факс. связь: +49 228 94 90 222  
Web site: <http://www.uno-verlag.de> • Электронная почта: [bestellung@uno-verlag.de](mailto:bestellung@uno-verlag.de)
- ИНДИЯ** Allied Publishers Limited, 1-13/14, Asaf Ali Road, New Delhi 110002  
Телефон: +91 11 3233002, 004 • Факс. связь: +91 11 3235967  
Электронная почта: [aplnd@del2.vsnl.net.in](mailto:aplnd@del2.vsnl.net.in) • Web site: <http://www.alliedpublishers.com>
- ИСПАНИЯ** Diaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid  
Телефон: +34 91 781 94 80 • Факс. связь: +34 91 575 55 63  
Электронная почта: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es) • [carmela@diazdesantos.es](mailto:carmela@diazdesantos.es) • [julio@diazdesantos.es](mailto:julio@diazdesantos.es) • Web site: <http://www.diazdesantos.es>
- ИТАЛИЯ** Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milan  
Телефон: +39 02 48 95 45 52 или 48 95 45 62 • Факс. связь: +39 02 48 95 45 48
- КАНАДА** Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Телефон: +613 745 2665 • Факс. связь: +613 745 7660  
Электронная почта: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Web site: <http://www.renoufbooks.com>
- КИТАЙ** Публикации МАГАТЭ на китайском языке:  
China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing
- НИДЕРЛАНДЫ** Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer  
Телефон: +31 793 684 400 • Факс. связь: +31 793 615 698  
Электронная почта: [info@nijhoff.nl](mailto:info@nijhoff.nl) • Web site: <http://www.nijhoff.nl>  
Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse  
Телефон: +31 252 435 111 • Факс. связь: +31 252 415 888  
Электронная почта: [infoho@swets.nl](mailto:infoho@swets.nl) • Web site: <http://www.swets.nl>
- СЛОВАКИЯ** Alfa Press, s.r.o., Racianska 20, SQ-832 10 Bratislava • Телефон/Факс. связь: +421 7 566 0489
- СЛОВЕНИЯ** Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana  
Телефон: +386 1 432 31 44 • Факс. связь: +386 1 230 14 35  
Электронная почта: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Web site: <http://www.cankarjeva-z.si/uvr>
- СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО** The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, 51 Nine Elms Lane, London SW8 5DR  
Телефон: +44 870 600 552 • Факс. связь: +44 207 873 8416  
Электронная почта: [Заказы:book.orders@theso.co.uk](mailto:Заказы:book.orders@theso.co.uk) • Справка: [ipa.enquiries@theso.co.uk](mailto:ipa.enquiries@theso.co.uk)  
Web site: <http://www.the-stationery-office.co.uk>
- Заказы в режиме on-line**  
DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Электронная почта: [info@profbooks.com](mailto:info@profbooks.com) • Web site: <http://www.profbooks.com>  
Книги по окружающей среде  
SMI (Distribution Services) Limited, P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP, Hertfordshire  
Электронная почта: [customerservices@earthprint.co.uk](mailto:customerservices@earthprint.co.uk) • Web site: <http://www.earthprint.co.uk>
- СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ** Berman Associates, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD 20706-4391  
Телефон: 1-800-274-4447 (бесплатно) • Факс. связь: (301) 459-0056/1-800-865-3450 (бесплатно)  
Электронная почта: [query@berman.com](mailto:query@berman.com) • Web site: <http://www.berman.com>  
Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669  
Телефон: +888 551 7470 (бесплатно) • Факс. связь: +888 568 8546 (бесплатно)  
Электронная почта: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Web site: <http://www.renoufbooks.com>
- ФИНЛЯНДИЯ** Akateeminen Kirjakauppa, PL 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Телефон: +358 9 121 4418 • Факс. связь: +358 9 121 4435  
Электронная почта: [sps@akateeminen.com](mailto:sps@akateeminen.com) • Web site: <http://www.akateeminen.com>
- ФРАНЦИЯ** Nucléon, Immeuble Platon, Parc les Algorithmes, F-91194 Gif-sur-Yvette, Cedex  
Телефон: +33 1 69 353636 • Факс. связь: +33 1 69 350099 • Электронная почта: [nucleon@nucleon.fr](mailto:nucleon@nucleon.fr)  
Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19  
Телефон: +33 1 42 01 49 49 • Факс. связь: +33 1 42 01 90 90 • Электронная почта: [formedit@formedit.fr](mailto:formedit@formedit.fr)
- ЯПОНИЯ** Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nihonbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027  
Телефон: +81 3 3275 8582 • Факс. связь: +81 3 3275 9072  
Электронная почта: [journal@maruzen.co.jp](mailto:journal@maruzen.co.jp) • Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

Заказы и запросы на информацию могут также направляться непосредственно по следующему адресу:



Группа продажи и рекламы, Международное агентство по атомной энергии  
Sales and Promotion Unit, International Atomic Energy Agency  
Wagramer Strasse 5, P.O. Box 100, A-1400, Vienna, Austria  
Телефон: +43 1 2600 22529 (или 22530) • Факс: +43 1 2600 29302  
Электронная почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Узел Web: <http://www.iaea.org/worldatom/Books>