

Нормы безопасности МАГАТЭ

для защиты людей и охраны окружающей среды

Учет вулканических опасностей при оценке площадок для ядерных установок

Специальное руководство по безопасности
№ SSG-21



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

В соответствии со статьей III своего Устава МАГАТЭ уполномочено устанавливать или принимать нормы безопасности для защиты здоровья и сведения к минимуму опасностей для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

Публикации, посредством которых МАГАТЭ устанавливает нормы, выпускаются в Серии норм безопасности МАГАТЭ. В этой серии охватываются вопросы ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов. **Категории публикаций в этой серии — это Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности.**

Информацию о программе по нормам безопасности МАГАТЭ можно получить на сайте МАГАТЭ в Интернете

www.iaea.org/ru/resursy/normy-bezopasnosti

На этом сайте содержатся тексты опубликованных норм безопасности и проектов норм безопасности на английском языке. Тексты норм безопасности выпускаются на арабском, испанском, китайском, русском и французском языках, там также можно найти глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности и доклад о ходе работы над еще не выпущенными нормами безопасности. Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Всем пользователям норм безопасности МАГАТЭ предлагается сообщать МАГАТЭ об опыте их использования (например, в качестве основы для национальных регулирующих положений, для составления обзоров безопасности и учебных курсов) в целях обеспечения того, чтобы они по-прежнему отвечали потребностям пользователей. Эта информация может быть направлена через сайт МАГАТЭ в Интернете или по почте (см. адрес выше), или по электронной почте по адресу Official.Mail@iaea.org.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

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

Доклады по вопросам безопасности в ядерной деятельности выпускаются в качестве **докладов по безопасности**, в которых приводятся практические примеры и подробные описания методов, которые могут использоваться в поддержку норм безопасности.

Другие публикации МАГАТЭ по вопросам безопасности выпускаются в качестве публикаций по **аварийной готовности и реагированию, докладов по радиологическим оценкам, докладов ИНСАГ** — Международной группы по ядерной безопасности, **технических докладов** и документов серии **ТЕСДОС**. МАГАТЭ выпускает также доклады по радиологическим авариям, учебные пособия и практические руководства, а также другие специальные публикации по вопросам безопасности.

Публикации по вопросам физической безопасности выпускаются в **Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности**.

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии состоит из информационных публикаций, предназначенных способствовать и содействовать научно-исследовательской работе в области ядерной энергии, а также развитию ядерной энергии и ее практическому применению в мирных целях. В ней публикуются доклады и руководства о состоянии технологий и успехах в их совершенствовании, об опыте, образцовой практике и практических примерах в области ядерной энергетики, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и снятия с эксплуатации.

УЧЕТ ВУЛКАНИЧЕСКИХ
ОПАСНОСТЕЙ ПРИ
ОЦЕНКЕ ПЛОЩАДОК ДЛЯ
ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ЙЕМЕН	ПОЛЬША
АВСТРИЯ	КАБО-ВЕРДЕ	ПОРТУГАЛИЯ
АЗЕРБАЙДЖАН	КАЗАХСТАН	РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
АЛБАНИЯ	КАМБОДЖА	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АЛЖИР	КАМЕРУН	РУАНДА
АНГОЛА	КАНАДА	РУМЫНИЯ
АНТИГУА И БАРБУДА	КАТАР	САЛЬВАДОР
АРГЕНТИНА	КЕНИЯ	САМОА
АРМЕНИЯ	КИПР	САН-МАРИНО
АФГАНИСТАН	КИТАЙ	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
БАГАМСКИЕ ОСТРОВА	КОЛУМБИЯ	СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ
БАНГЛАДЕШ	КОМОРСКИЕ ОСТРОВА	СЕВЕРНАЯ МАКЕДОНИЯ
БАРБАДОС	КОНГО	СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
БАХРЕЙН	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	СЕНЕГАЛ
БЕЛАРУСЬ	КОСТА-РИКА	СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ
БЕЛИЗ	КОТ-Д'ИВУАР	СЕНТ-КИТС И НЕВИС
БЕЛЬГИЯ	КУБА	СЕНТ-ЛЮСИЯ
БЕНИН	КУВЕЙТ	СЕРБИЯ
БОЛГАРИЯ	КЫРГЫЗСТАН	СИНГАПУР
БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВО	ЛАОССКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	ЛАТВИЯ	СЛОВАКИЯ
БОТСВАНА	ЛЕСОТО	СЛОВЕНИЯ
БРАЗИЛИЯ	ЛИБЕРИЯ	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ	ЛИВАН	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
БУРКИНА-ФАСО	ЛИВИЯ	СУДАН
БУРУНДИ	ЛИТВА	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
ВАНУАТУ	ЛИХТЕНШТЕЙН	ТАДЖИКИСТАН
ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ЛЮКСЕМБУРГ	ТАИЛАНД
ВЬЕТНАМ	МАВРИКИЙ	ТОГО
ГАБОН	МАВРИТАНИЯ	ТОНГА
ГАИТИ	МАДАГАСКАР	ТРИНИДАД И ТОБАГО
ГАЙАНА	МАЛАВИ	ТУНИС
ГАМБИЯ	МАЛАЙЗИЯ	ТУРКМЕНИСТАН
ГАНА	МАЛИ	ТУРЦИЯ
ГВАТЕМАЛА	МАЛЬТА	УГАНДА
ГВИНЕЯ	МАРОККО	УЗБЕКИСТАН
ГЕРМАНИЯ	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	УКРАИНА
ГОНДУРАС	МЕКСИКА	УРУГВАЙ
ГРЕНАДА	МОЗАМБИК	ФИДЖИ
ГРЕЦИЯ	МОНАКО	ФИЛИППИНЫ
ГРУЗИЯ	МОНГОЛИЯ	ФИНЛЯНДИЯ
ДАНИЯ	МЬЯНМА	ФРАНЦИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО	НАМИБИЯ	ХОРВАТИЯ
ДЖИБУТИ	НЕПАЛ	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ДОМИНИКА	НИГЕР	ЧАД
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	НИГЕРИЯ	ЧЕРНОГОРИЯ
ЕГИПЕТ	НИДЕРЛАНДЫ	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЗАМБИЯ	НИКАРАГУА	ЧИЛИ
ЗИМБАБВЕ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ШВЕЙЦАРИЯ
ИЗРАИЛЬ	НОРВЕГИЯ	ШВЕЦИЯ
ИНДИЯ	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ	ШРИ-ЛАНКА
ИНДОНЕЗИЯ	ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЭКВАДОР
ИОРДАНИЯ	ОМАН	ЭРИТРЕЯ
ИРАК	ПАКИСТАН	ЭСВАТИНИ
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ПАЛАУ	ЭСТОНИЯ
ИРЛАНДИЯ	ПАНАМА	ЭФИОПИЯ
ИСЛАНДИЯ	ПАПАУА — НОВАЯ ГВИНЕЯ	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИСПАНИЯ	ПАРАГВАЙ	ЯМАЙКА
ИТАЛИЯ	ПЕРУ	ЯПОНИЯ

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».

СЕРИЯ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ, № SSG-21

УЧЕТ ВУЛКАНИЧЕСКИХ
ОПАСНОСТЕЙ ПРИ
ОЦЕНКЕ ПЛОЩАДОК ДЛЯ
ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2023 ГОД

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Берн) и пересмотренной в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно оформляется соглашениями типа роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом случае в отдельности. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)
Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Венский международный центр,
а/я 100,
А1400 Вена, Австрия
Факс: +43 1 26007 22529
Тел.: +43 1 2600 22417
Эл. почта: sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2023

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии

Декабрь 2023 года

STI/PUB/1552

УЧЕТ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ
ПРИ ОЦЕНКЕ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ЯДЕРНЫХ
УСТАНОВОК

МАГАТЭ, ВЕНА, 2023 ГОД

STI/PUB/1552

ISBN 978-92-0-449922-3 (печатный формат)

ISBN 978-92-0-449822-6 (формат pdf)

ISSN 1020-5845

ПРЕДИСЛОВИЕ

Устав МАГАТЭ уполномочивает Агентство «устанавливать или применять ... нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества» — нормы, которые МАГАТЭ должно использовать в своей собственной работе и которые государства могут применять посредством их включения в свои регулирующие положения в области ядерной и радиационной безопасности. МАГАТЭ осуществляет это в консультации с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями. Всеобъемлющий свод высококачественных и регулярно пересматриваемых норм безопасности наряду с помощью МАГАТЭ в их применении является ключевым элементом стабильного и устойчивого глобального режима безопасности.

МАГАТЭ начало осуществлять свою программу по нормам безопасности в 1958 году. Значение, уделяемое качеству, соответствию поставленной цели и постоянному совершенствованию, лежит в основе широкого применения норм МАГАТЭ во всем мире. Серия норм безопасности теперь включает единообразные основополагающие принципы безопасности, которые выработаны на основе международного консенсуса в отношении того, что должно пониматься под высоким уровнем защиты и безопасности. При твердой поддержке со стороны Комиссии по нормам безопасности МАГАТЭ проводит работу с целью содействия глобальному признанию и использованию своих норм.

Однако нормы эффективны лишь тогда, когда они надлежащим образом применяются на практике. Услуги МАГАТЭ в области безопасности охватывают вопросы проектирования, выбора площадки и инженерно-технической безопасности, эксплуатационной безопасности, радиационной безопасности, безопасной перевозки радиоактивных материалов и безопасного обращения с радиоактивными отходами, а также вопросы государственной основы, регулирования и культуры безопасности в организациях. Эти услуги в области безопасности содействуют государствам-членам в применении норм и позволяют обмениваться ценным опытом и данными.

Ответственность за деятельность по регулированию безопасности возлагается на страны, и многие государства принимают решения применять нормы МАГАТЭ по безопасности в своих национальных регулирующих положениях. Для сторон различных международных конвенций по безопасности нормы МАГАТЭ являются согласованным и надежным средством обеспечения эффективного выполнения обязательств, вытекающих из этих конвенций. Эти нормы применяются также

регулирующими органами и операторами во всем мире в целях повышения безопасности при производстве ядерной энергии и применении ядерных методов в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях.

Безопасность — это не самоцель, а необходимое условие защиты людей во всех государствах и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Риски, связанные с ионизирующими излучениями, должны оцениваться и контролироваться без неоправданного ограничения вклада ядерной энергии в справедливое и устойчивое развитие. Правительства, регулирующие органы и операторы во всем мире должны обеспечивать, чтобы ядерный материал и источники излучения использовались для всеобщего блага, в условиях безопасности и с учетом мнения общественности. Для содействия этому предназначены нормы МАГАТЭ по безопасности, которые я призываю применять все государства-члены.

ПРИМЕЧАНИЕ СЕКРЕТАРИАТА

Нормы МАГАТЭ по безопасности отражают международный консенсус в отношении того, что является основой высокого уровня безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. В процессе разработки, рассмотрения и установления норм МАГАТЭ участвуют Секретариат МАГАТЭ и все государства-члены, многие из которых представлены в четырёх комитетах МАГАТЭ по нормам безопасности и в Комиссии МАГАТЭ по нормам безопасности.

Нормы МАГАТЭ, которые являются ключевым элементом глобального режима безопасности, регулярно пересматриваются Секретариатом, комитетами по нормам безопасности и Комиссией по нормам безопасности. Секретариат собирает информацию об опыте применения норм МАГАТЭ и информацию, полученную в связи с реагированием на произошедшие события, с целью обеспечения соответствия этих норм потребностям пользователей. В настоящей публикации нашли отражение информация и опыт, накопленные до 2010 года, и она была серьезно переработана в рамках процесса рассмотрения норм.

Уроки, которые могут быть извлечены из аварии на АЭС «Фукусима-дайити» в Японии, произошедшей после катастрофического землетрясения и цунами 11 марта 2011 года, будут учтены в будущих пересмотренных выпусках настоящей публикации норм МАГАТЭ по безопасности.

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Радиоактивность — это естественное явление, и в окружающей среде присутствуют природные (естественные) источники излучения. Ионизирующие излучения и радиоактивные вещества с пользой применяются во многих сферах — от производства энергии до использования в медицине, промышленности и сельском хозяйстве. Радиационные риски, которым в результате этих применений могут подвергаться работники, население и окружающая среда, подлежат оценке и должны в случае необходимости контролироваться.

Поэтому такая деятельность, как медицинское использование излучения, эксплуатация ядерных установок, производство, перевозка и использование радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами, должна осуществляться в соответствии с нормами безопасности.

Ответственность за регулирование в области безопасности возлагается на государства. Однако радиационные риски могут выходить за пределы национальных границ, и в рамках международного сотрудничества принимаются меры по обеспечению и укреплению безопасности в глобальном масштабе посредством обмена опытом и расширения возможностей для контроля опасностей, предотвращения аварий, реагирования в случае аварийных ситуаций и смягчения любых вредных последствий.

Государства обязаны проявлять должную осмотрительность и соответствующую осторожность, и предполагается, что они будут выполнять свои национальные и международные обязательства.

Международные нормы безопасности содействуют выполнению государствами своих обязательств согласно общим принципам международного права, например, касающимся охраны окружающей среды. Кроме того, международные нормы безопасности укрепляют и обеспечивают уверенность в безопасности и способствуют международной торговле.

Глобальный режим ядерной безопасности постоянно совершенствуется. Нормы безопасности МАГАТЭ, которые поддерживают осуществление имеющих обязательную силу международных договорно-правовых документов и функционирование национальных инфраструктур безопасности, являются краеугольным камнем этого глобального режима.

Нормы безопасности МАГАТЭ представляют собой полезный инструмент, с помощью которого договаривающиеся стороны оценивают свою деятельность по выполнению этих конвенций.

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Статус норм безопасности МАГАТЭ вытекает из Устава МАГАТЭ, которым МАГАТЭ уполномочивается устанавливать и применять, в консультации и в надлежащих случаях в сотрудничестве с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями, нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

В целях обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения нормы безопасности МАГАТЭ устанавливают основополагающие принципы безопасности, требования и меры для обеспечения контроля за радиационным облучением людей и выбросом радиоактивного материала в окружающую среду, ограничения вероятности событий, которые могут привести к утрате контроля за активной зоной ядерного реактора, ядерной цепной реакцией, радиоактивным источником или любым другим источником излучения, и смягчения последствий таких событий в случае, если они будут иметь место. Нормы касаются установок и деятельности, связанных с радиационными рисками, включая ядерные установки, использование радиационных и радиоактивных источников, перевозку радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами.

Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности¹ преследуют общую цель защиты жизни и здоровья людей и охраны окружающей среды. Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности должны разрабатываться и осуществляться комплексно таким образом, чтобы меры по обеспечению физической безопасности не осуществлялись в ущерб безопасности, и наоборот, чтобы меры по обеспечению безопасности не осуществлялись в ущерб физической безопасности.

¹ См. также публикации в серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности.

Нормы безопасности МАГАТЭ отражают международный консенсус в отношении того, что является основой высокого уровня безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. Они выпускаются в Серии норм безопасности МАГАТЭ, которая состоит из документов трех категорий (см. рис. 1).

Основы безопасности

Основы безопасности содержат основополагающие цели и принципы защиты и безопасности и служат основой для требований безопасности.

Требования безопасности

Комплексный и согласованный свод требований безопасности устанавливает требования, которые должны выполняться с целью обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Эти требования устанавливаются в соответствии с целями и принципами, изложенными в Основах безопасности. Если требования не выполняются, то должны приниматься меры для



РИС. 1. Долгосрочная структура Серии норм безопасности МАГАТЭ.

достижения или восстановления требуемого уровня безопасности. Формат и стиль требований облегчают их гармоничное использование для создания национальной основы регулирования. Требования, включая пронумерованные всеобъемлющие требования, выражаются формулировками «должен, должна, должно, должны». Многие требования конкретно не адресуются, а это означает, что за их выполнение отвечают соответствующие стороны.

Руководства по безопасности

В руководствах по безопасности содержатся рекомендации и руководящие материалы, касающиеся выполнения требований безопасности, и в них выражается международный консенсус в отношении необходимости принятия рекомендуемых мер (или эквивалентных альтернативных мер). В руководствах по безопасности представлена международная надлежащая практика, и они во все большей степени отражают наилучшую практику, помогающую пользователям достичь высокого уровня безопасности. Рекомендации, содержащиеся в руководствах по безопасности, формулируются с применением глагола «следует».

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Основными пользователями норм безопасности в государствах — членах МАГАТЭ являются регулирующие и другие соответствующие государственные органы. Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ используются другими организациями-спонсорами и многочисленными организациями, которые занимаются проектированием, сооружением и эксплуатацией ядерных установок, а также организациями, участвующими в использовании радиационных и радиоактивных источников.

Нормы безопасности МАГАТЭ применяются в соответствующих случаях на протяжении всего жизненного цикла всех имеющихся и новых установок, используемых в мирных целях, и на протяжении всей нынешней и новой деятельности в мирных целях, а также в отношении защитных мер, применяемых с целью уменьшения существующих радиационных рисков. Они могут использоваться государствами в качестве основы для национальных регулирующих положений в отношении установок и деятельности.

Согласно Уставу МАГАТЭ нормы безопасности являются обязательными для МАГАТЭ применительно к его собственной деятельности, а также для государств применительно к работе, выполняемой с помощью МАГАТЭ.

Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ формируют основу для услуг МАГАТЭ по рассмотрению безопасности, и они используются МАГАТЭ для повышения компетентности, включая разработку учебных планов и проведение учебных курсов.

Международные конвенции содержат требования, которые аналогичны требованиям, изложенным в нормах безопасности МАГАТЭ, и являются обязательными для договаривающихся сторон. Нормы безопасности МАГАТЭ, подкрепляемые международными конвенциями, отраслевыми стандартами и подробными национальными требованиями, создают прочную основу для защиты людей и охраны окружающей среды. Существуют также некоторые особые вопросы безопасности, требующие оценки на национальном уровне. Например, многие нормы безопасности МАГАТЭ, особенно нормы, посвященные вопросам планирования или разработки мер по обеспечению безопасности, предназначаются, прежде всего, для применения к новым установкам и видам деятельности. На некоторых существующих установках, сооруженных в соответствии с нормами, принятыми ранее, не возможно выполнять в полном объеме требования, установленные в нормах безопасности МАГАТЭ. Вопрос о том, как нормы безопасности МАГАТЭ должны применяться на таких установках, решают сами государства.

Научные соображения, лежащие в основе норм безопасности МАГАТЭ, обеспечивают объективную основу для принятия решений по вопросам безопасности; однако органы, отвечающие за принятие решений, должны также выносить обоснованные суждения, а также должны определять, как обеспечить оптимальный баланс между пользой от принимаемых мер или осуществляемых мероприятий и связанными с ними радиационными рисками и любыми иными негативными последствиями применения этих мер или мероприятий.

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Подготовкой и рассмотрением норм безопасности занимаются Секретариат МАГАТЭ и пять комитетов по нормам безопасности, охватывающих аварийную готовность и реагирование (ЭПРеСК), ядерную безопасность (НУССК), радиационную безопасность (РАССК), безопасность радиоактивных отходов (ВАССК) и безопасную перевозку радиоактивных материалов (ТРАНССК), а также Комиссия по нормам безопасности (КНБ), которая осуществляет надзор за программой по нормам безопасности МАГАТЭ (см. рис. 2).



РИС. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.

Все государства — члены МАГАТЭ могут назначать экспертов в комитеты по нормам безопасности и представлять замечания по проектам норм. Члены Комиссии по нормам безопасности назначаются Генеральным директором, и в ее состав входят старшие правительственные должностные лица, несущие ответственность за установление национальных норм.

Для осуществления процессов планирования, разработки, рассмотрения, пересмотра и установления норм безопасности МАГАТЭ создана система управления. Особое место в ней занимают мандат МАГАТЭ, видение будущего применения норм, политики и стратегий безопасности и соответствующие функции и обязанности.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

При разработке норм безопасности МАГАТЭ учитываются выводы Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) и рекомендации международных экспертных органов, в частности, Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Некоторые нормы безопасности разрабатываются в сотрудничестве с другими органами системы Организации Объединенных Наций или другими специализированными учреждениями, включая Продовольственную и сельскохозяйственную организацию Объединенных Наций, Программу Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международную организацию труда, Агентство по ядерной энергии ОЭСР, Панамериканскую организацию здравоохранения и Всемирную организацию здравоохранения.

ТОЛКОВАНИЕ ТЕКСТА

Относящиеся к ядерной и физической безопасности термины следует понимать в соответствии с определениями, приведенными в Глоссарии МАГАТЭ по ядерной и физической безопасности (см. <https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary>). Во всех остальных случаях в издании на английском языке слова используются с написанием и значением, приведенными в последнем издании Краткого оксфордского словаря английского языка. Для руководств по безопасности аутентичным текстом является английский вариант.

Общие сведения и соответствующий контекст норм в Серии норм безопасности МАГАТЭ, а также их цель, сфера применения и структура приводятся в разделе 1 «Введение» каждой публикации.

Материал, который нецелесообразно включать в основной текст (например, материал, являющийся вспомогательным или отдельным от основного текста, дополняет формулировки основного текста или описывает методы расчетов, процедуры или пределы и условия), может быть представлен в дополнениях или приложениях.

Дополнение, если оно включено, рассматривается в качестве неотъемлемой части норм безопасности. Материал в дополнении имеет тот же статус, что и основной текст, и МАГАТЭ берет на себя авторство в отношении такого материала. Приложения и сноски к основному тексту, если они включены, используются для предоставления практических примеров или дополнительной информации или пояснений. Приложения и сноски не являются неотъемлемой частью основного текста. Материал

в приложениях, опубликованный МАГАТЭ, не обязательно выпускается в качестве его авторского материала; в приложениях к нормам безопасности может быть представлен материал, имеющий другое авторство. Посторонний материал, публикуемый в приложениях, приводится в виде выдержек и адаптируется по мере необходимости, с тем чтобы быть в целом полезным.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	1
	Общие положения (1.1–1.5)	1
	Цель (1.6–1.8)	3
	Область применения (1.9–1.19)	4
	Структура (1.20)	11
2.	ОБЗОР ОЦЕНКИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ	12
	Характер вулканических явлений и вулканических опасностей (2.1–2.10)	12
	Геологическая летопись и неопределенность данных (2.11–2.14)	15
	Альтернативные концептуальные модели вулканизма (2.15–2.18)	16
	Потенциальная активность вулкана (2.19)	18
	Детерминированные и вероятностные подходы (2.20–2.22)	19
3.	ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	20
	Введение (3.1–3.4)	20
	Общая процедура (3.5–3.10)	23
4.	НЕОБХОДИМАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ (БАЗА ДАННЫХ)	26
	Общий обзор (4.1–4.3)	26
	Информация, необходимая для начальной оценки (этап 1) (4.4–4.8)	27
	Информация, необходимая для скрининговой оценки опасностей и оценки свойственных данной площадке опасностей (этапы 2–4) (4.9–4.37)	29
5.	СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ (5.1)	39
	Этап 1: начальная оценка (5.2–5.4)	40

Этап 2: характеристика потенциальных источников будущей вулканической активности (5.5–5.15)	41
Этап 3: скрининговая оценка вулканических опасностей (5.16–5.23)	44
6. ОЦЕНКА СВОЙСТВЕННЫХ ДАННОЙ ПЛОЩАДКЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ (6.1–6.5)	47
Выпадение тефры (6.6–6.10)	49
Пирокластические плотностные течения: пирокластические потоки, волны и взрывы (6.11–6.17)	51
Лавовые потоки (6.18–6.22)	54
Обломочные лавины, оползни и разрушения склонов (6.23–6.27)	56
Вулканические потоки обломочного материала, лахары и наводнения (6.28–6.32)	59
Открытие новых жерл (6.33–6.37)	61
Образуемые вулканом обломки (6.38–6.41)	63
Вулканические газы (6.42–6.46)	65
Цунами и сейши (6.47–6.48)	67
Атмосферные явления (6.49–6.52)	68
Деформация грунта (6.53–6.57)	69
Вулканические землетрясения и связанные с ними опасности (6.58–6.62)	71
Гидротермальные системы и аномалии подземных вод (6.63–6.67)	73
Комплексная модель вулканических опасностей (6.68–6.71)	75
7. ЯДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ, НЕ ОТНОСЯЩИЕСЯ К АТОМНЫМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМ (7.1–7.14)	76
8. МОНИТОРИНГ И ПОДГОТОВКА К РЕАГИРОВАНИЮ (8.1–8.4)	81
9. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ (9.1–9.4)	83

ДОПОЛНЕНИЕ	ОПИСАНИЕ ТИПОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		97
ПРИЛОЖЕНИЕ I	СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ	99
ПРИЛОЖЕНИЕ II	МИРОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ.	105
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВУЛКАНОЛОГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ.....		109
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ.....		129
ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ		131

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство по безопасности подготовлено в рамках программы МАГАТЭ по разработке норм безопасности. В нем дополняются и излагаются рекомендации по выполнению требований для ядерных установок, сформулированных в публикации категории Требования безопасности «Оценка площадок для ядерных установок» [1] в отношении вулканических опасностей. Таким образом, настоящее Руководство по безопасности дополняет другие руководства по безопасности, посвященные вопросам защиты ядерных установок от внешних природных явлений и событий техногенного происхождения, путем соответствующего выбора площадки и оценки ее состояния, а также посредством соответствующих проектных решений и защитных мер на площадке, когда это необходимо [2–6].

1.2. Публикации категории Требования безопасности «Оценка площадок для ядерных установок» гласит: «Для данного региона должны быть собраны и должны быть тщательно проанализированы с точки зрения достоверности, точности и полноты соответствующие доисторические, исторические и инструментально зарегистрированные данные и документация по случаям и серьезности важных природных явлений или техногенных ситуаций и видов деятельности» (пункт 2.17 в [1]). В этой связи вулканизм прямо упоминается в пункте 3.52 публикации [1]: «Должны быть собраны и оценены исторические данные, касающиеся явлений, которые потенциально могут приводить к возникновению отрицательных последствий для безопасности ядерной установки, таких как вулканизм, песчаные бури, обильные осадки, снег, лед, град и подповерхностное замерзание переохлажденной воды (шуга)». Следовательно, вулканизм необходимо учитывать на этапах выбора площадки и оценки площадки для ядерной установки. Поэтому настоящее Руководство по безопасности обеспечивает основу для выполнения этого требования, как и другие руководства по безопасности МАГАТЭ в отношении иных природных и антропогенных внешних событий, путем всестороннего учета всех потенциальных вулканических опасностей. Данную предпосылку не следует рассматривать как элемент содействия размещению ядерных установок в регионах с опасной вулканической активностью.

1.3. Настоящее Руководство по безопасности обновляет и заменяет публикацию Серии временных норм безопасности, № 1, «Volcanoes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting» («Вулканы и связанные с ними вопросы в контексте выбора площадки для атомной электростанции»), изданную в 1997 году. Это было первое руководство МАГАТЭ по данному вопросу, и оно было опубликовано в период, когда разработка еще продолжалась как на национальном, так и на международном уровнях. С тех пор многие аспекты вулканологической науки получили дальнейшее развитие. В то же время в ядерном сообществе растет интерес к строительству дополнительных атомных электростанций на существующих площадках, которые не были всесторонне оценены с точки зрения вулканических опасностей в процессе выбора площадки. В настоящее время в мире обследуется и оценивается все большее число территорий для размещения на них новых ядерных установок. В частности, некоторые государства впервые приступают к созданию ядерных установок, и в случае некоторых из этих объектов необходима тщательная оценка потенциала возникновения вулканических опасностей. Публикация Серии временных норм безопасности МАГАТЭ, № 1, оказалась уникальным справочным документом по этому вопросу и использовалась как научным, так и ядерным сообществом в целях повышения качества оценки вулканических опасностей. Информация о полученном в связи с этим опыте была использована при подготовке настоящего Руководства по безопасности.

1.4. Вулканические явления — это поверхностные проявления масштабных геологических процессов, которые развиваются на значительной глубине в недрах Земли в течение длительных периодов времени. Вулканическая активность вызывается глубинными геологическими явлениями, определяющими локальную скорость магмообразования. Рекомендации, изложенные в настоящем Руководстве по безопасности, отражают текущее состояние развития вулканологической науки, претерпевшей значительные изменения за последние тридцать лет. За это время вулканология превратилась из преимущественно описательной науки в количественную науку, базирующуюся на наблюдениях за вулканическими системами, проведение которых ранее было невозможно, и на использовании численных моделей сложных вулканических процессов. Учитывая такое развитие вулканологии, эти достижения целесообразно использовать в интересах улучшения оценок безопасности ядерных установок с целью защиты от внешних опасностей этого типа.

1.5. В большинстве случаев существуют инженерно-технические или эксплуатационные решения, позволяющие смягчить некоторые последствия внешних событий посредством определенных проектных мер и/или эксплуатационных процедур. Однако, когда такие решения не являются практически осуществимыми или когда не может быть продемонстрировано, что они являются адекватными для цели смягчения последствий внешних событий, следует выбирать альтернативную площадку. В этой связи настоящее Руководство по безопасности содействует выполнению принципа 8 Основополагающих принципов безопасности [7] в отношении надлежащего выбора площадки в качестве средства обеспечения глубокоэшелонированной защиты, путем предоставления руководящих материалов, во-первых, по основам скрининговой оценки и исключения из рассмотрения («отсева») площадок, которые признаются непригодными в процессе выбора площадки, и, во-вторых, по оценке вулканических опасностей, которые могут воздействовать на ядерную установку и для которых могут быть установлены соответствующие проектные основы.

ЦЕЛЬ

1.6. Целью настоящего Руководства по безопасности является предоставление рекомендаций и руководящих материалов по оценке вулканических опасностей на площадке ядерной установки, чтобы обеспечить возможность идентификации и всесторонней характеристики всех потенциально опасных явлений, которые могут быть связаны с будущими вулканическими событиями. Эти вулканические явления могут влиять на принятие решения о пригодности выбираемой площадки, а некоторые из них могут предопределять соответствующие проектные параметры установки.

1.7. Настоящее Руководство по безопасности предназначено для использования регулирующими органами, ответственными за установление регулирующих требований, проектировщиками ядерных установок и эксплуатирующими организациями, непосредственно ответственными за оценку вулканических опасностей на площадке размещения ядерной установки.

1.8. Настоящее Руководство по безопасности не предназначается для целей анализа реакции и оценки стойкости ядерной установки применительно к вулканическим опасностям (т. е. для анализа проектных характеристик установки, расчетов стойкости или пределов устойчивости систем, конструкций и элементов).

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.9. Настоящее Руководство по безопасности предназначается для использования главным образом в процессе выбора и оценки площадки для новых ядерных установок. Оно может также использоваться применительно к существующим ядерным установкам при ретроспективной оценке внешних по отношению к установке вулканических опасностей, которые могут воздействовать на нее.

1.10. Выбор площадки — это процесс отбора соответствующей площадки для размещения установки с использованием адекватных критериев [8]. Выбор подходящей площадки является одним из элементов концепции глубоководной защиты, используемой для предотвращения аварий, как это предусматривается принципом 8 Основополагающих принципов безопасности [7].

1.11. Процесс выбора площадки для ядерной установки в целом состоит из начальной стадии исследований, изыскательских работ для выбора площадки, целью которых является охват большого региона и определение потенциальных площадок, а также выбор и ранжирование одной или нескольких площадок-кандидатов. Далее следует этап оценки этих площадок-кандидатов с целью окончательного выбора площадки, на которой будет размещена ядерная установка. После отбора площадки процесс выбора площадки на этом завершается.

1.12. Оценка площадки — это процесс, который охватывает период от i) последнего этапа процесса выбора площадки (т. е. этапа оценки площадок-кандидатов с целью выбора предпочтительной площадки или площадок) до ii) оценки выбранной площадки для подтверждения ее пригодности и определения соответствующих площадке проектных основ для данной установки, iii) подтверждения и завершения оценки на предэксплуатационном этапе установки (т. е. на этапах проектирования, строительства, монтажа и ввода в эксплуатацию) и, наконец, iv) этапа эксплуатации установки (см. пункты 1.8 и 1.14 в [1]). Таким образом, оценка

площадки продолжается на протяжении всего жизненного цикла установки, обеспечивая учет изменений в характеристиках площадки, появления актуализированных данных и дополнительной информации, данных эксплуатационной документации, подходов к регулированию, методологий оценки и норм безопасности.

1.13. Вулканические опасности, рассматриваемые в настоящем Руководстве по безопасности, безусловно, относятся к внешним событиям, т. е. природным явлениям или событиям техногенного происхождения, которые возникают вне площадки и процесса в установке и над которыми эксплуатирующая организация может иметь очень незначительный контроль или совсем не иметь его. Такие события не связаны с эксплуатацией установки или осуществлением определенной деятельности, но они могут влиять на безопасность установки или деятельности. Следует также отметить, что концепция «внешних по отношению к установке» опасностей включает в себя не только внешнюю зону (см. [8]), так как помимо территории, непосредственно окружающей площадку, на территории самой площадки могут находиться объекты, способные создавать опасность для установки. Оценка вулканических опасностей может также требоваться при проведении вероятностной оценки безопасности (ВОБ) установки и рассмотрении всего спектра внешних событий в качестве исходных событий.

1.14. В настоящем Руководстве по безопасности рассматриваются вулканические процессы, которые могут оказывать воздействие на функционирование систем безопасности ядерной установки, и изложены рекомендации, касающиеся методов, которые можно использовать, и критически важных факторов, связанных с оценкой вулканических явлений и связанных с ними последствий. Различные типы явлений, связанных с вулканизмом, рассматриваются с точки зрения их влияния на пригодность площадки и на определение проектных параметров.

1.15. Вулканические явления способны влиять на пригодность площадки и на проект ядерной установки. Опасности, исходящие от вулканов, могут проявляться в широком диапазоне времени и расстояний. Эти опасности не равномерно распределяются по планете. На территории приблизительно 25% государств-членов имеются потенциально активные вулканы, и создаваемые ими опасности могут легко распространяться за пределы международных границ. Некоторые опасности могут возникать

даже в случае неактивных вулканов, например, это может быть потенциал возникновения коллапса постройки вулкана, порождающего цунами, спустя длительное время после прекращения вулканической активности.

1.16. Для целей настоящего Руководства по безопасности вулканической опасностью считается любое явление, связанное с вулканизмом, которое может влиять на пригодность площадки или на проект ядерной установки. Вулканизм — это природный процесс, возникающий в результате подъема магмы в земных недрах и извержения или почти извержения на земной поверхности, что приводит к явлениям, которые могут иметь далеко идущие и долгосрочные последствия. Вулканические опасности сложны и разнообразны. Некоторые явления, такие как открытие нового вулканического жерла, могут создавать опасность или опасности, представляющие собой критерий исключения, применение которого, следовательно, означает, что дальнейшее рассмотрение данной площадки для размещения на ней ядерной установки исключается из процесса выбора площадок. Потенциал возникновения таких разрушительных явлений в районе расположения площадки необходимо учитывать на раннем этапе процессов выбора и оценки площадки с целью принятия на основе оценки решения о подтверждении пригодности площадки или об ее отклонении. В целом район расположения площадки определяется как зона, простирающаяся на несколько километров от территории площадки с учетом топографического рельефа площадки и определяемая по согласованию с регулирующим органом. Аналогичным образом в рамках оценки пригодности площадки следует оценивать потенциал возникновения в районе расположения площадки различных потоковых явлений, таких как пирокластические потоки или лавовые потоки. Потенциал возникновения других вулканических явлений, таких как образование вулканической тефры, может включать внешние события, учитываемые в проектной основе. Поскольку некоторые вулканические явления потенциально могут воздействовать на площадки, находящиеся в сотнях километров от извергающихся вулканов, для оценки вулканической опасности необходимо применять комплексную методологию. В настоящем Руководстве по вопросам безопасности рассматривается характер вулканических явлений в контексте оценки опасностей и определяются рамки вероятностных и детерминированных подходов к оценке вулканических опасностей.

1.17. Вопросы, касающиеся потенциала возникновения так называемых грязевых вулканов вблизи площадки, выходят за рамки настоящего Руководства по безопасности, поскольку в строгом смысле это не вулканическое явление, при котором магма выходит на поверхность.

В действительности грязевые вулканы формируются, когда избыточное давление, образующееся внутри земных недр, выносит на поверхность смесь отложений, воды и газа (дополнение, пункт I.14). Хотя образование грязевого вулкана не является в строгом смысле вулканическим явлением, опасности, связанные с грязевым вулканизмом, могут быть оценены с использованием методов, описанных в настоящем Руководстве по безопасности, в связи с открытием новых жерл, а также с помощью методов, рассматриваемых в [6].

1.18. Настоящее Руководство по безопасности охватывает широкий спектр ядерных установок, как определено в [8], к которым относятся: наземные стационарные атомные электростанции, исследовательские реакторы, заводы по изготовлению ядерного топлива, заводы по обогащению, заводы по переработке и хранилища отработавшего топлива. Методологии, рекомендованные для атомных электростанций, применимы к другим ядерным установкам при использовании дифференцированного подхода, который позволяет адаптировать эти рекомендации под требования для различных типов ядерных установок в соответствии с потенциальными радиологическими последствиями нарушения их работы из-за воздействия вулканических опасностей. Рекомендуемое направление дифференциации — начинать с атрибутов, относящихся к атомным электростанциям, и по возможности переходить к установкам, с которыми связаны меньшие радиологические последствия¹. Если же дифференциация не проводится, то рекомендации, относящиеся к атомным электростанциям, применимы и к другим ядерным установкам.

1.19. В настоящем Руководстве по безопасности под существующими ядерными установками (объектами использования атомной энергии) понимаются установки: i) на этапе эксплуатации (в том числе долгосрочной эксплуатации и длительного временного периода останова), или ii) на предэксплуатационном этапе, на котором работы по сооружению конструкций, изготовлению, монтажу и/или сборке элементов и систем, а также работы по вводу в эксплуатацию находятся в значительно продвинутом состоянии или в полной мере выполнены. Пока ядерное топливо находится на ядерной установке, считается, что оно продолжает оставаться на этапе эксплуатации, на котором требуется поддерживать высокий уровень эксплуатационной безопасности [11]. В случае существующих ядерных установок, находящихся на эксплуатационном или предэксплуатационном

¹ В случае площадок, на которых размещены ядерные установки различных типов, применению дифференцированного подхода следует уделять особое внимание.

ТАБЛИЦА 1. ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СПОСОБНЫЕ ОКАЗЫВАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЯДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ, И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ВЫБОРА И ОЦЕНКИ ПЛОЩАДКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Явление	Потенциально негативные последствия для ядерных установок	Признается ли критерием исключения на этапе выбора площадки?	Могут ли последствия быть смягчены посредством проектных решений ² и эксплуатационных мер?
1. Выпадение тефры	Статические физические нагрузки, абразивные и коррозионно-активные фракции в воздухе и воде	Нет	Да
2. Пирокластические плотностные потоки: пирокластические потоки, волны и взрывы	Динамические физические нагрузки, волны атмосферного избыточного давления, удары летящих обломков, температура >300°C, абразивные фракции, токсичные газы	Да	Нет
3. Лавовые потоки	Динамические физические нагрузки, наводнения и образование водоемов, температура >700°C	Да	Нет
4. Обломочные лавины, оползни и разрушения склонов	Динамические физические нагрузки, волны атмосферного избыточного давления, удары летящих обломков, образование водоемов и наводнения	Да	Нет
5. Обломочные лавины, оползни и разрушения склонов	Динамические физические нагрузки, образование водоемов и наводнения, твердые фракции, взвешенные в воде	Да	Да

ТАБЛИЦА 1. ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СПОСОБНЫЕ ОКАЗЫВАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЯДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ, И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ВЫБОРА И ОЦЕНКИ ПЛОЩАДКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ (продолжение)

Явление	Потенциально негативные последствия для ядерных установок	Признается ли критерием исключения на этапе выбора площадки?	Могут ли последствия быть смягчены посредством проектных решений ² и эксплуатационных мер?
6. Открытие новых жерл	Динамические физические нагрузки, деформация грунта, вулканические землетрясения	Да	Нет
7. Образуемые вулканом обломки	Удары фрагментов, статические физические нагрузки, абразивные частицы в воде	Да	Да
8. Вулканические газы и аэрозоли	Токсичные и коррозионные газы, кислотные дожди, газонасыщенные озера, загрязнение воды	Нет	Да
9. Цунами, сейши, разрушение кратерных озер и ледниковые прорывы	Загопление водой	Да	Да
10. Атмосферные явления	Динамические волны избыточного давления, удары молнии, нисходящие потоки ветра	Нет	Да
11. Деформация грунта	Смещения, оседание или поднятие, наклон грунта, оползни	Да	Нет

ТАБЛИЦА 1. ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СПОСОБНЫЕ ОКАЗЫВАТЬ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЯДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ, И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ВЫБОРА И ОЦЕНКИ ПЛОЩАДКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ (продолжение)

Явление	Потенциально негативные последствия для ядерных установок	Признается ли критерием исключения на этапе выбора площадки?	Могут ли последствия быть смягчены посредством проектных решений ² и эксплуатационных мер?
12. Вулканические землетрясения и связанные с ними опасности	Непрерывный тремор, множественные толчки, обычно магнитуда землетрясения $M < 5$	Нет	Да
13. Гидротермальные системы и аномалии подземных вод	Термальная вода, агрессивная вода, загрязнение воды, загопление или апвеллинг, гидротермальные изменения, оползни, изменение карста и термокарста, резкое изменение гидравлического давления	Да	Да

Примечание: «Да» в столбце для этапа выбора площадки указывает на то, что наличие значительной опасности от данного явления в районе расположения площадки, как правило, является критерием исключения площадки из рассмотрения, т.е. основанием для того, что площадка признается непригодной для размещения на ней ядерной установки. В столбце для этапов проектирования и эксплуатации указывается, является ли в целом практически возможной компенсация потенциальных опасностей, ассоциирующихся с конкретными явлениями, посредством соответствующих проектных решений или мер по планированию эксплуатации установки. «Да» в обоих столбцах означает, что в принципе данное явление служит критерием исключения площадки из рассмотрения, хотя в некоторых случаях может быть разработана соответствующая проектная основа.

² Проектирование также включает разработку мер по защите площадки от некоторых опасностей.

этапе, изменение первоначальных проектных основ или изменение регулирующих требований, касающихся учета вулканических опасностей, может в значительной степени повлиять на первоначальные проектные решения и, следовательно, обусловить необходимость осуществления важных модификаций оборудования.

СТРУКТУРА

1.20. В настоящем Руководстве по безопасности описание явлений, связанных с вулканизмом, и сбора необходимых данных и информации изложено отдельно от критериев оценки опасностей. Соответственно, в разделе 2 и дополнении приводится общее описание различных типов вулканических явлений и дан обзор критериев и общей методологии, которые следует применять при проведении оценки опасностей. В разделе 3 приводятся общие рекомендации и кратко изложена общая процедура, которых следует придерживаться на этапах оценки и выбора площадки. Разделы 4–6 содержат детальные руководящие материалы, предназначенные для использования применительно к атомным электростанциям. В разделе 4 приведены рекомендации по созданию и развитию базы данных для оценки опасностей. Разделы 5 и 6 содержат рекомендации по проведению оценки вулканических опасностей и по определению проектных параметров. В разделе 7 описываются процедуры и критерии, которые должны использоваться в случае установок, не относящихся к атомным электростанциям, с использованием дифференцированного подхода, а в разделе 8 приводится информация о мониторинге и подготовке к реагированию в случае проявления вулканической активности. Раздел 9 содержит руководящий материал по связанным с системой менеджмента аспектам задач, которые необходимо решать. В качестве общей информации для неспециалистов в приложении I приводятся примеры сложной серии событий, сопровождающих различные типы вулканических извержений, а в приложении II содержится информация о мировых доступных источниках данных по этой теме. В конце основного текста, несмотря на известное отсутствие полного консенсуса в научном сообществе в отношении употребления и значения некоторых терминов, даны определения вулканологических терминов, используемых исключительно в контексте настоящего Руководства по безопасности.

2. ОБЗОР ОЦЕНКИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

ХАРАКТЕР ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

2.1. Вулканические события могут представлять значительные опасности для ядерных установок. Вулканические опасности возникают в результате явлений, имеющих широкий спектр физических характеристик. Эти явления могут возникать изолированно или в сочетании с другими явлениями во время развития вулканического извержения. Некоторые из этих явлений могут возникать задолго до или спустя много времени после извержения. Соответственно в настоящем Руководстве по безопасности термин «вулканическое событие» используется для обозначения совокупности потенциально опасных явлений, которые могут происходить до, во время или после вулканического извержения. В данном разделе приводится обзор характера и типов вулканических явлений и вулканических опасностей, возникающих в результате вулканического события, а также дано общее описание методологий и критериев, используемых для оценки опасностей, связанных с такими явлениями.

2.2. Явления, связанные с вулканическими событиями, способными создавать потенциальную опасность для площадки, перечислены в таблице 1 с четким указанием явлений, характеристики которых следует рассматривать как исключающие отбор данной площадки-кандидата на этапе выбора площадки, а также явлений, воздействие которых может быть компенсировано посредством проектных решений и эксплуатационных мер. Решение о пригодности площадки принимается с учетом возможности того, что явления, имеющие помету «Да» в третьем столбце таблицы 1, которые, как правило, представляют собой фактор исключения площадки из рассмотрения на этапах выбора, могут возникнуть на территории площадки или в районе расположения площадки.

2.3. Если результаты оценки показывают, что явления, имеющие помету «Да» в третьем столбце таблицы 1, являются потенциально возможными и могут проявиться на территории площадки или в районе расположения площадки и способны повлиять на безопасность атомной электростанции и что практических инженерных решений для их компенсации не существует, площадку следует признавать непригодной.

2.4. Как указывалось выше, потенциальное возникновение явления, представляющего собой критерий исключения (например, пирокластическое плотностное течение, лавовый поток, новое жерло), которое способно оказать прямое воздействие на площадку или район расположения площадки, является фактором, предопределяющим исключение площадки из дальнейшего рассмотрения. Некоторые явления (например, лахары и наводнения, цунами и гидротермальные системы) считаются критериями исключения, если они оказывают прямое воздействие на площадку или если они происходят непосредственно на площадке или в районе расположения площадки. Однако в некоторых особых случаях и обстоятельствах такие явления, происходящие в регионе расположения площадки и оказывающие определенное воздействие на нее, могут быть компенсированы посредством соответствующих проектных, защитных и эксплуатационных мер. В последнем случае может потребоваться разработка надлежащих проектных основ. Дополнительная информация о факторах, влияющих на пригодность площадки или проектные основы, приводится в разделе 6 и в дополнении.

2.5. В случае признания площадки пригодной следует разрабатывать соответствующую проектную основу для явлений, которые могут произойти на площадке и повлиять на безопасность атомной электростанции.

2.6. Вулканические события происходят нечасто по сравнению с большинством других природных явлений, способных влиять на безопасность и функционирование ядерных установок. Извержение некоторых вулканов происходило после покоя в течение тысяч и даже больше лет. В качестве общего правила активными считаются вулканы, которые извергались в течение последних 10 000 лет. Во всем мире насчитывается более 1500 вулканов, которые можно считать активными на этом основании (см. приложение II), и эти вулканы официально называются голоценовыми вулканами, т. е. вулканами, извергавшимися в течение последних 10 000 лет (периода, именуемого эпохой голоцена). Голоценовые вулканы могут извергаться после длительных периодов покоя. Реактивизация некоторых вулканов происходила после периодов бездействия более 10 000 лет. Многие вулканы не изучены достаточно детально, чтобы точно знать, извергались они в голоцене или нет. Поэтому рассмотрение вулканических опасностей не должно ограничиваться известными голоценовыми вулканами.

2.7. Вулканическая активность в пределах географического региона может сохраняться в течение более длительного времени, чем активность, связанная с отдельными вулканами. Многие вулканические дуги проявляют

повторяющуюся вулканическую активность в течение более 10 млн лет³, хотя отдельные вулканы в пределах самой дуги могут оставаться активными всего около 1 млн лет. Поскольку такая распределенная вулканическая активность может сохраняться на протяжении многих миллионов лет, считается, что регионы, в которых наблюдалась вулканическая активность в течение последних 10 млн лет, обладают потенциалом будущей активности. Прямая оценка частоты повторения вулканических событий в регионе, составляющая менее 1 события за 10 млн лет, означает, что текущая годовая вероятность будущей вулканической активности равна менее 10^{-7} . При оценке опасности внешних событий для ядерных установок (см. пункт 4.3 [2]) ограничивающее значение годовой вероятности возникновения событий с потенциальными радиологическими последствиями называется уровнем вероятности скрининговой оценки, и в некоторых государствах-членах для него устанавливается значение 10^{-7} . Исходные события с годовой вероятностью возникновения ниже этого уровня вероятности скрининговой оценки следует исключать из дальнейшего рассмотрения независимо от связанных с ними последствий. Таким образом, на начальном этапе скрининговой оценки годовая вероятность возникновения события 10^{-7} является разумной основой для оценки возможности возникновения какого-либо типа вулканической активности в будущем, учитывая, что опасные последствия на площадке в результате извержения будут еще менее вероятны.

2.8. Эпизоды эруптивной вулканической активности в случае отдельных вулканов могут иметь длительность от нескольких часов до десятилетий, а в редких случаях даже длиться в течение более продолжительных периодов времени. Интенсивность вулканических извержений может варьироваться от низкоэнергетических событий, которые могут приводить к возникновению небольших потоков лавы и образуемых вулканом обломков с ограниченной дальностью распространения, до высокоэнергетических событий, которые накрывают ландшафт слоем горячего пепла, толщина которого достигает нескольких десятков метров. Таким образом, во время вулканических событий могут происходить различные вулканические явления в совершенно разных масштабах. Даже вулканы, находящиеся в сотнях километров от площадки, могут порождать опасные явления, такие как выпадение тefры, затяжные лахары, наводнения или цунами, которые могут негативно влиять на безопасность и функционирование ядерной установки.

³ Млн лет: миллионов лет.

2.9. Неэруптивные явления, связанные с вулканами, также могут представлять опасность для ядерных установок. Вулканы, как правило, являются нестабильными формами рельефа. Даже после длительных периодов покоя фрагменты вулкана могут внезапно обрушиваться, образуя оползни и потоки обломочного материала. Этот тип массового разрушения часто инициируется экстремальными погодными явлениями, такими как тропические циклоны. Такие события могут затрагивать территории в тысячи квадратных километров вокруг вулкана. Некоторые вулканы тесно связаны с тектоническими разломами или геотермальной активностью. В таких случаях сейсмическая активность, связанная с подвижками по разломам, также может вызывать коллапс вулканической постройки. Эти примеры свидетельствуют о том, что при оценке вулканической опасности применительно к ядерной установке необходимо учитывать влияние экстремальных погодных условий, гидрологических и тектонических процессов на вероятность и характеристики будущих вулканических событий.

2.10. Вулканические события редко порождают одно опасное явление. Напротив, извержения могут инициировать сложную последовательность событий и продуцировать широкий спектр вулканических явлений. Конкретные воздействия вулканических явлений зависят от ряда условий, таких как состав продуктов извержения, температура, содержание воды и сопутствующие факторы. Возникновение одних вулканических явлений может приводить к изменению вероятности возникновения других явлений. При оценке вулканической опасности используется системный подход для оценки вероятных взаимосвязанных явлений и обеспечения учета в анализе всех соответствующих опасностей.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЛЕТОПИСЬ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ДАННЫХ

2.11. Репрезентативные характеристики и частота прошлых событий являются важнейшими данными в любой оценке вулканической опасности. Однако геологические летописи (геологические разрезы), как правило, являются неполным источником этих данных. Вероятность отражения в геологических летописях событий с большой магнитудой гораздо выше, чем событий с малой магнитудой. Однако такие незарегистрированные мелкомасштабные события могут представлять опасность для ядерных установок. Отсутствие некоторых событий в геологической летописи и интерпретация этой летописи являются источниками неопределенностей, которые необходимо должным образом учитывать при оценке опасностей.

2.12. Геологическая летопись отдельного вулкана не обязательно отражает потенциальные характеристики и масштабы будущей активности. При оценке опасностей учитывается, что вулканические системы эволюционируют, и характеристики опасностей могут изменяться со временем, иногда довольно быстро. Информация, полученная применительно к аналогичным вулканам, может быть использована как для ограничения и уменьшения неопределенностей, возникающих при интерпретации неполной геологической летописи, так и для оценки потенциальных изменений вулканических опасностей с течением времени.

2.13. Частота и время возникновения прошлых событий в случае большинства вулканов не вполне понятны и являются неопределенными. Например, время самых последних извержений вулканов определить сложно, если применительно к этим вулканам исторические данные об их активности отсутствуют. Ответ на вопрос о том, является ли данный вулкан спящим или потухшим, часто носит субъективный характер и является трудно определяемым.

2.14. В случае большинства вулканов физические характеристики прошлых событий, такие как их объемные размеры и пространственная протяженность, могут быть оценены с большей определенностью, чем время возникновения этих событий. Таким образом, оценка вулканических опасностей, направленная на определение геологических характеристик вулканических явлений и их пространственной протяженности, обычно дает более достоверные результаты, чем оценка, предусматривающая анализ вероятности возникновения опасных явлений. Детальные оценки опасности при наличии достаточных оснований могут потребовать рассмотрения вероятности возникновения и связанных с этим неопределенностей применительно к вулканическим явлениям, которые способны достигать данной площадки.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ВУЛКАНИЗМА

2.15. Основопологающим допущением при оценке вулканической опасности является то, что регистрация прошлых вулканических событий обеспечивает надежный показатель возможных будущих событий. В целях обеспечения доверия к этому допущению требуется разработка концептуальных моделей для интерпретации геологической летописи применительно к вулканическим процессам. Такие концептуальные модели

могут учитывать происхождение магмы, тектоническую обстановку в месте нахождения вулканов, скорость и объемы выбросов, образующихся при извержениях, а также природу вулканических опасностей. Например, вулканизм в регионе расположения площадки может быть связан с тектонической обстановкой, которая остается неизменной на протяжении миллионов лет, и поэтому можно принять допущение, что процессы, интерпретируемые на основании геологической летописи, сохранятся в будущем. Также для потенциальной площадки может быть выбрано место на территории, где тектоническая обстановка со временем изменилась таким образом, что геологическая летопись прошлой вулканической активности может быть плохой репрезентацией потенциала будущего вулканизма. Например, характеристики отдельных вулканов на вулканической дуге могут изменяться в течение относительно короткого периода времени из-за изменений в ориентации или величине поля напряжений в земной коре. Поэтому концептуальная модель тектонической обстановки для определения вулканизма помогает установить, в какой степени прошлые события адекватно репрезентируют будущие события.

2.16. Четкое и надлежащее понимание процессов, влияющих на вулканизм, репрезентируемых концептуальной моделью, позволяет наилучшим образом использовать имеющиеся геологические данные и руководить сбором дополнительных данных. Обновление концептуальных моделей осуществляется по мере поступления новой информации в ходе исследований площадки. В некоторых случаях после завершения начальной оценки площадки могут появиться новые данные и концептуальные модели.

2.17. В оценках вулканических опасностей, как правило, учитываются альтернативные концептуальные модели. Эти модели согласуются с имеющимися данными и современным научным пониманием и анализируются с должным учетом их влияния на оценку опасностей. Например, вулканические системы могут варьироваться от преимущественно эффузивных систем с низкоэнергетическими извержениями до эксплозивных систем с более высокой энергией извержения. Использование концептуальной модели вулканической активности для вулкана, в геологической летописи которого отражены лишь продукты низкоэнергетических извержений, может привести к получению оценки опасностей, применимой только к данной вулканической активности. Напротив, альтернативная концептуальная модель, в которой используется информация по аналогичным вулканическим системам, будет учитывать опасности, связанные с более высокоэнергетическими эксплозивными извержениями.

2.18. Результаты оценки опасностей, как правило, четко документируются в случаях, когда альтернативные концептуальные модели приводят к значительным расхождениям в оценке опасностей. Если альтернативные модели дают значительные расхождения в оценке опасностей, то далее применение этих альтернативных моделей следует распространить на всю оценку опасностей.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА

2.19. Понятие «потенциально активного» вулкана или вулканического поля применяется в настоящем Руководстве по безопасности для обозначения вулканов и/или вулканических полей, потенциально способных порождать опасные явления, которые могут воздействовать на площадку ядерной установки. Потенциально активный вулкан или потенциально активное вулканическое поле — это вулкан, который: i) характеризуется достоверной вероятностью будущей активности на протяжении всего жизненного цикла установки и ii) имеет потенциал продуцирования явлений, способных воздействовать на площадку размещения установки. После выявления одного или нескольких потенциально активных вулканов и/или вулканических полей проводится комплексная оценка собственных данной площадке вулканических опасностей. Определение вулкана как потенциально активного зависит не только от периода времени, истекшего с даты последнего извержения вулкана, а скорее зависит от достоверности прогнозов будущих вулканических извержений. Такое разграничение обусловлено тем, что: i) часто существует значительная неопределенность в отношении времени проявления самой последней вулканической активности в случае вулканов, для которых не имеется документально зафиксированных свидетельств об исторических извержениях, и ii) имеется множество детерминированных или вероятностных методов установления достоверности прогнозов будущих извержений, таких как анализ частоты повторяемости извержений, оценка текущего состояния активности вулкана с помощью геофизических и геохимических исследований, анализ геохимических трендов, указывающих на магмопродуктивность вулканической системы и анализ тектонической обстановки в районе расположения вулкана.

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПОДХОДЫ

2.20. В настоящее время для оценки вулканических опасностей применяются как детерминированные, так и вероятностные методы. Детерминированные методы позволяют оценивать вулканическую опасность с использованием одного или нескольких постулируемых наихудших сценариев. Таким образом, они используют пороговые значения для скрининговой оценки конкретных явлений и их исключения из дальнейшего рассмотрения. Такие пороговые значения часто основываются на эмпирических данных, таких как максимальный объем или максимальная латеральная протяженность пирокластических потоков. Однако эти методы не позволяют учитывать в анализе весь диапазон неопределенностей, которыми характеризуются данные и модели. Вероятностные методы охватывают анализ всех сценариев возникновения потенциальных опасностей для данной площадки и учитывают неопределенности, связанные с каждым сценарием, в окончательных расчетах опасностей. В таком анализе, как правило, предусматривается рассмотрение широкого спектра потенциальной частотности, интенсивностей и характеристик каждого события. Как детерминированные, так и вероятностные методы оценки опасностей основываются на эмпирических наблюдениях и теоретическом понимании вулканических процессов. Потенциальная активность вулкана и свойственные данной площадке вулканические опасности оцениваются с использованием, насколько это возможно, как детерминированных, так и вероятностных методов, поскольку эти методы дополняют друг друга.

2.21. При применении как детерминированного, так и вероятностного подхода магнитуда и пространственная протяженность вулканических явлений оцениваются с использованием геологических данных, собранных в регионе расположения площадки, и в соответствии с концептуальными моделями вулканических процессов. Эти геологические данные могут быть дополнены информацией, полученной применительно к аналогичным вулканам и в результате проведения численного симуляционного моделирования вулканических явлений. Если для целей оценки потенциальной активности вулкана или оценки свойственных данной площадке вулканических опасностей необходимы данные о вероятности возникновения явления, то для оценки частоты повторяемости вулканических событий можно использовать определение относительного и абсолютного возраста. При применении как вероятностного, так и детерминированного подхода анализ неопределенностей, обусловленных

имеющимися данными и принятыми в модели допущениями, является неотъемлемой частью оценки опасностей, как подробно рассматривается в разделе 5, который посвящен конкретным вулканическим явлениям.

2.22. Если расхождение результатов применения альтернативных моделей не могут быть объяснены или устранены путем проведения дополнительных исследований в разумные сроки, то при окончательной оценке опасностей следует рассматривать все такие альтернативные модели. При оценке вулканических опасностей необходимо количественно оценивать все неопределенности, связанные с альтернативными концептуальными моделями, при этом следует составлять четкую и прослеживаемую документацию, отражающую метод или методы распространения каждой неопределенности в процессе оценки опасностей. Примеры методов, используемых для учета и распространения неопределенностей, включают логические деревья и ограничивающие анализы, основанные на конкретных моделях. Важно понимать, что любой подход к оценке, будь то детерминированный или вероятностный, сопряжен с присущими ему неопределенностями, которые необходимо учитывать.

3. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ВВЕДЕНИЕ

3.1. Данный раздел содержит общие рекомендации по процедуре оценки вулканических опасностей применительно к потенциальной площадке ядерной установки. Следует обеспечивать, чтобы результатом оценки вулканической опасности была прозрачная и прослеживаемая запись решений, принятых в отношении пригодности площадки и определения проектной основы. По сути, рекомендуемый подход является ориентированным только на вулканические явления, представляющие потенциальную опасность для площадки. В таком подходе признается необходимость повышения уровня детализации информации соразмерно возрастающим уровням опасности на площадке. В нем также признается, что в случае площадок, расположенных вдали от потенциально активных вулканов, следует рассматривать лишь ограниченную подгруппу потенциальных опасностей, например только отдаленные выпадения тефры

и/или вулканогенные цунами. В случае площадок, расположенных ближе к потенциально активным вулканам, следует рассматривать весь спектр потенциальных опасностей.

3.2. Общая цель оценки вулканических опасностей сводится к определению применительно к вулканическому источнику, под которым для целей настоящего Руководства по безопасности понимается вулкан и/или вулканическое поле, потенциальной активности, способной продуцировать потенциально опасные явления, которые могут достигать данной площадки и воздействовать на безопасность ядерной установки. Таким образом, если это будет признано необходимым, следует разрабатывать комплексную модель вулканических опасностей для площадки. Достижение этой цели следует обеспечивать на протяжении всего процесса применения подхода, основанного на четырех этапах, как изложено ниже и показано на рис. 1:

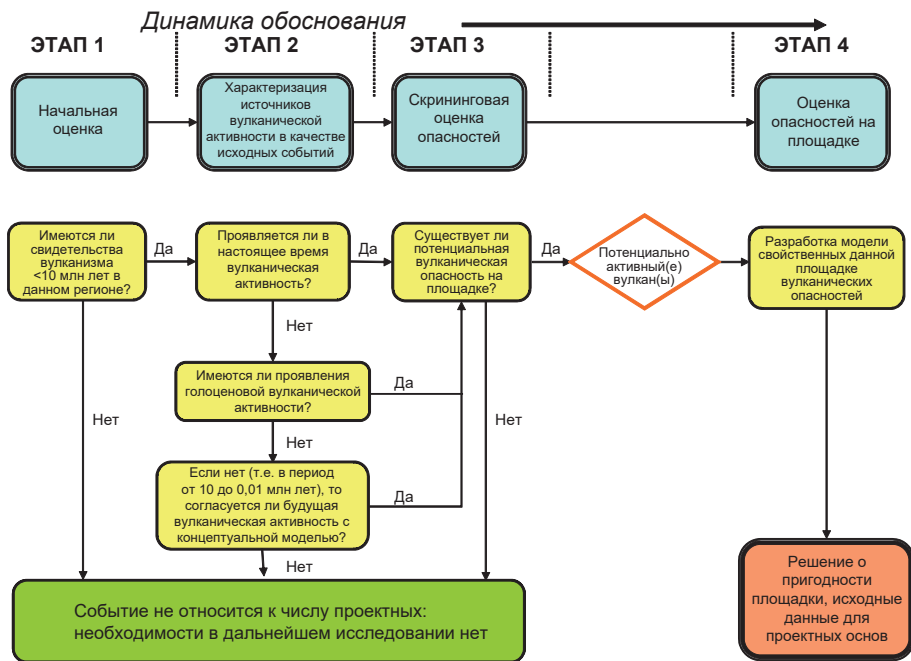


РИС. 1. Методологический подход к оценке вулканических опасностей.

- i) Этап 1: во-первых, проводится начальная оценка для определения географического региона вокруг данной площадки, охватывающего все источники вулканической активности, которая могла проявляться в течение последних 10 млн лет.
- ii) Этап 2: во-вторых, после выявления этих источников вулканической активности проводится их оценка на предмет установления возможности извержения или продуцирования еще одного вулканического явления в будущем.
- iii) Этап 3: в-третьих, оценивается возможность возникновения в будущем вулканических событий, создающих опасные явления, которые могут негативно воздействовать на площадку размещения ядерной установки. Вулканы, не обладающие потенциалом продуцирования опасных явлений на площадке, следует исключать из дальнейшего рассмотрения.
- iv) Этап 4: наконец, в случае выявления потенциально активного вулканического источника проводится оценка свойственных данной площадке вулканических опасностей. В эту оценку следует включать все конкретные явления, способные воздействовать на площадку, а также при ее проведении следует учитывать потенциальные причинно-следственные связи между этими явлениями.

Каждый из этих этапов кратко описывается в следующих ниже пунктах, и в следующих разделах изложены дополнительные руководящие материалы.

3.3. На каждом этапе оценки следует определять, имеется ли достаточная информация для адекватной оценки вулканических опасностей на площадке. В некоторых случаях имеющейся информации может быть достаточно для скрининговой оценки конкретных вулканических явлений и их исключения из дальнейшего рассмотрения. В других случаях следует собирать дополнительную информацию для оценки вулканических опасностей, определения пригодности площадки и/или определения соответствующих проектных событий.

3.4. На первом этапе процесса выбора площадки, т. е. в ходе проведения изысканий для выбора площадки, следует проводить сбор соответствующих данных с использованием имеющихся источников информации (публикаций, технических отчетов и других соответствующих материалов) в целях выявления вулканических явлений, способных приводить к опасным

последствиям на выявленной площадке-кандидате или выявленных площадках-кандидатах. В приложении II указаны мировые источники информации, которые могут быть использованы для таких целей.

ОБЩАЯ ПРОЦЕДУРА

Этап 1: начальная оценка

3.5. На начальном этапе оценки опасностей внимание следует сосредоточивать на двух основных вопросах:

- 1) определение соответствующего географического региона вокруг выявленной площадки-кандидата или выявленных площадок-кандидатов, охватывающего все потенциальные источники вулканической опасности;
- 2) сбор свидетельств вулканической активности, имевшей место в этом регионе в течение последних 10 млн лет.

Границы географического региона зависят от характера и типа вулканических явлений, перечисленных в таблице 1, масштабы магнитуды которых варьируются от десятков километров в случае некоторых явлений, наиболее важных с точки зрения выбора площадки и безопасности установки, до тысяч километров в случае других явлений, таких как выпадение тefры и цунами. Этот этап включает детальный анализ имеющихся источников информации, относящейся к географическому региону, в котором находится площадка. При проведении этого детального анализа, как правило, используются геологические карты, результаты предыдущих геологических исследований и другая информация, как указано в разделе 4. На этом этапе определяется географический регион вокруг площадки или площадок, для которых проводится оценка опасностей⁴.

3.6. Следует обеспечивать, чтобы результатом этапа 1 было определение наличия и распределения вулканических источников моложе 10 млн лет в географическом регионе вокруг выявленной площадки-кандидата или

⁴ В следующих ниже пунктах термин «географический регион» обозначает регион вокруг площадки или площадок, для которых выполняется оценка вулканических опасностей.

выявленных площадок-кандидатов. Если в географическом регионе нет вулканических источников моложе 10 млн лет, то дальнейшие исследования не требуются.

Этап 2: характеристика потенциальных источников будущей вулканической активности

3.7. Если результаты первоначальной оценки на этапе 1 указывают на то, что в географическом регионе присутствуют вулканические источники моложе 10 млн лет, то далее следует разрабатывать концептуальную модель вулканических процессов в регионе. Следует обеспечивать, чтобы эта концептуальная модель, или набор альтернативных концептуальных моделей, включала анализ тектонических условий вулканизма, частоты эруптивной активности и аналогичную информацию о геологических трендах. Вулканы, согласующиеся с концептуальной моделью вулканических процессов, и все вулканы с зарегистрированной голоценовой активностью, следует характеризовать более подробно. Также, если можно обосновать на основе применения концептуальной модели вулканизма, что вероятный потенциал будущих извержений отсутствует, например, если тектоническая обстановка, которая привела к активности в прошлом на этих вулканах, претерпела значительные изменения, то эти вулканы следует исключать из дальнейшего рассмотрения. Такое обоснование может быть подкреплено иерархическим анализом, как описано в пунктах 5.5–5.15.

Этап 3: скрининговая оценка вулканических опасностей

3.8. В случаях, когда потенциальная возможность будущей вулканической активности в регионе расположения площадки не может быть исключена, следует оценивать потенциал воздействия опасных явлений на площадку при извержении или возникновении другого вулканического события. Эту оценку следует проводить применительно ко всем явлениям, связанным с каждым потенциально активным вулканическим источником (т. е. вулканом или вулканическим полем) в данном географическом регионе вокруг площадки, как определено на этапе 1. Для оценки потенциальной возможности распространения опасных вулканических явлений на территорию площадки следует использовать детерминистические и/или вероятностные методы. Все потенциально активные вулканические источники в исследуемом географическом регионе не обязательно будут продуцировать все вулканические явления, перечисленные в таблице 1.

Вулканы, не обладающие потенциалом продуцирования опасных вулканических явлений на площадке, следует исключать из дальнейшего рассмотрения при проведении оценки опасностей.

Этап 4: Оценка опасностей, исходящих от потенциально активных вулканов

3.9. Вулканические источники, выявленные на этапе 3 в качестве вулканических источников, которые могут извергаться в будущем и которые могут продуцировать потенциально опасные вулканические явления на данной площадке, считаются потенциально активными вулканическими источниками (см. пункт 2.16). Поэтому следует проводить комплексную оценку свойственных данной площадке вулканических опасностей применительно ко всем потенциально активным вулканическим источникам, охватывая все вулканические явления, перечисленные в таблице 1. Результаты этой оценки составляют техническую основу принятия решений по:

- а) пригодности площадки;
- б) определению проектной основы применительно к явлениям, последствия которых могут быть смягчены посредством проектных решений и эксплуатационных мер, если площадка признается пригодной в других отношениях.

Дополнительные соображения

3.10. Если вулканы в пределах географического региона являются источниками возникновения вероятных опасностей на площадке, то характеристики этих потенциально активных вулканов необходимо контролировать на протяжении всего жизненного цикла установки [1]. В этом случае перед вводом в эксплуатацию в координации со специализированными учреждениями государства, ответственными за раннее оповещение об опасных природных явлениях, следует разработать и ввести в действие программу мониторинга для раннего оповещения на этапе эксплуатации. Как правило, требования по аварийному планированию для установки предусматривают такую программу мониторинга и такие рабочие процедуры.

4. НЕОБХОДИМАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ (БАЗА ДАННЫХ)

ОБЩИЙ ОБЗОР

4.1. Убедительность и надежность любой оценки вулканической опасности зависит от четкого понимания:

- a) характера каждого отдельного вулканического источника в пределах соответствующего географического региона;
- b) более широкого вулканологического, геологического и тектонического контекста таких вулканических источников;
- c) типов, магнитуды и частотности вулканических явлений, которые потенциально могут быть продуцированы каждым из этих источников.

В целях обеспечения должного уровня прозрачности в оценке следует проводить сбор или обобщение подробной информации по каждому из вулканических источников и их контексту в регионе с созданием соответствующей базы данных.

4.2. В эту базу данных следует включать всю информацию, необходимую для принятия решений на каждом этапе оценки вулканических опасностей. Следует обеспечивать, чтобы структура базы данных была достаточно гибкой, с тем чтобы можно было отражать растущую степень детализации информации, обеспечивая ее полноту и интеграцию по мере развития и усложнения анализа. Вначале база данных может быть сформирована на основе или с использованием информации, полученной из существующих международных и национальных библиотек вулканологических данных. По мере продвижения процесса характеристики площадки в базу данных следует вносить дополнительные данные, собранные конкретно для данной оценки. В данном разделе приводятся руководящие материалы, касающиеся типов и уровней детализации информации, необходимой для оценки вулканических опасностей в соответствии с требованием ее обоснования по мере проведения оценки.

4.3. Помимо применения в качестве информационного ресурса базу данных следует использовать также для документирования процесса обработки данных в ходе оценки вулканических опасностей. Это позволит фиксировать свидетельства и их интерпретацию, на которых основываются принимаемые научно обоснованные решения, а также будет служить

механизмом обеспечения качества данных, используемых для оценки. Например, в базу данных следует включать все данные, используемые для разработки критериев скрининговой оценки, а также последующие принимаемые решения. Любые данные, рассмотренные при проведении оценки, но отклоненные как нерелевантные или неточные для оценки опасностей или не использованные по иной причине, следует также хранить в базе данных и идентифицировать в качестве таковых, но при этом следует указывать обоснование исключения этих отклоненных данных из оценки. В целях обеспечения согласованности в представлении информации следует по возможности создавать географическую информационную систему на основе имеющихся данных с указанием соответствующих сведений об источнике данных. Хранение всех данных следует организовывать с учетом облегчения их сопоставления и интеграции.

ИНФОРМАЦИЯ, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ НАЧАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ (ЭТАП 1)

4.4. При проведении начальной оценки (см. рис. 1) для определения в данном географическом регионе, окружающем площадку, возможной прошлой вулканической активности в течение последних 10 млн лет следует использовать имеющиеся геологические знания. Если будет признано, что имеющейся геологической информации по региону недостаточно для данной цели, следует проводить поиск дополнительных данных, таких как данные, указанные в пунктах 4.6–4.8, для обеспечения адекватной исходной основы для начальной оценки.

4.5. Географический регион, выбираемый для оценки, не имеет заранее определенных, стандартных размеров, он устанавливается с учетом типов потенциально опасных явлений, способных возникнуть в результате вулканической активности моложе 10 млн лет и оказать воздействие на безопасность атомной электростанции. Наиболее важными вулканическими явлениями с точки зрения выбора площадки и обеспечения безопасности атомной электростанции являются явления, которые распространяются на короткое расстояние от вулкана. Регион, рассматриваемый на предмет наличия таких потенциальных опасностей, может иметь протяженность всего лишь в несколько десятков километров от границ площадки. Что касается выпадения тefры и других опасных атмосферных явлений, связанных с вулканами, то следует обеспечивать, чтобы изучаемый географический регион имел протяженность в несколько сотен и тысяч километров от границ площадки, при этом должное внимание следует

уделять особенностям региональной структуры ветровых полей⁵. В оценке потенциальных цунами, порождаемых вулканическими явлениями, при рассмотрении некоторых прибрежных площадок следует надлежащим образом учитывать весь океанический бассейн (см. [5]). Географический регион, подлежащий исследованию, следует определять в начале оценки вулканических опасностей.

4.6. Для начальной оценки необходима иерархия геологических карт и вулканологических данных. На этом этапе подходящими могут быть имеющиеся геологические карты, если они предоставляют данные в различных масштабах. Например, карта масштаба 1:500 000 может использоваться для всей площади исследования, а карты масштаба 1:50 000 — для региона расположения площадки. Для начальной оценки, как правило, требуются геологические карты вулканов в масштабе 1:50 000 или крупнее. Для этой цели полезными могут быть также имеющиеся спутниковые изображения и аэрофотоснимки. Также следует использовать данные, собранные в международных и национальных библиотеках вулканологических данных, в особенности по голоценовым и четвертичным вулканам. В рамках национальных программ по снижению опасностей часто составляются карты вулканических опасностей и проводятся оценки опасностей применительно к конкретным вулканам. В случае наличия таких карт опасностей и оценок опасностей их следует использовать при проведении начальной оценки. Вся указанная информация может использоваться для составления тематических карт с применением географической информационной системы, которую следует создавать на различных этапах оценки вулканических опасностей, как это рекомендуется в пункте 4.3.

4.7. Характеризацию вулканизма следует проводить в соответствии с данным типом вулкана и потенциальным вулканическим извержением (см. приложение I). На этом начальном этапе целесообразно рассматривать вулканическую активность также с точки зрения возраста, общих пространственно-временных трендов, морфологии, продуктов извержения и связанного с ними диапазона моделей эруптивного поведения и тектонических условий. При рассмотрении некоторых площадок важное значение для выявления потенциальных вулканических источников

⁵ В качестве примера расширения территории, подвергшейся воздействию вулканического извержения, можно привести случай выпадения тефры дециметровой толщины на атлантическом побережье Южной Америки из неизвестного вулкана, находящегося в удаленном районе Анд, возможно, на расстоянии 1000 км.

и отложений в ходе начальной оценки могут иметь морские данные, например батиметрические данные, данные анализа буровых кернов или описания кернов. Такая детальная характеристика обеспечивает основу для определения соответствующего географического региона для целей оценки вулканических опасностей. Эту характеристику следует подкреплять данными с соответствующим уровнем разрешения.

4.8. Определение возраста вулканических продуктов, связанных с вулканическими источниками, позволяет получить основополагающую информацию для этапа начальной оценки. Такое определение возраста может включать историческую информацию, данные о стратиграфическом родстве, радиометрическое датирование и морфологическое описание. Уровень детализации информации следует критически оценивать для обеспечения идентификации всех соответствующих вулканических источников и определения их возраста с надлежащим качеством. Во многих случаях имеющейся информации может быть недостаточно для проведения надежного анализа на данном этапе оценки площадки. В таких ситуациях следует проводить определение, сбор или обобщение дополнительных геохронологических, геологических и вулканологических данных. Например, может требоваться дополнительный отбор проб для определения возраста вулканических продуктов в данном географическом регионе.

ИНФОРМАЦИЯ, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ СКРИНИНГОВОЙ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКИ СВОЙСТВЕННЫХ ДАННОЙ ПЛОЩАДКЕ ОПАСНОСТЕЙ (ЭТАПЫ 2–4)

4.9. Если результаты начальной оценки свидетельствуют о вулканизме моложе 10 млн лет, то следующим шагом является изучение и при необходимости сбор более детальной информации о времени проявления и характеристиках этого вулканизма и любых связанных с ним явлений в окружающем регионе. Как указано ниже, эту информацию следует включать в вулканологическую базу данных.

4.10. В базу данных следует также включать выводы или записи о связанных неопределенностях, качестве данных, источниках данных и любую другую соответствующую информацию, которая может быть полезна при оценивании достоверности свидетельств и надежности данных в связи с определением надежности оценки опасностей. Особое внимание следует уделять документированию источников неопределенности, возникающих

из-за неполноты знаний (т. е. эпистемических неопределенностей), а также неопределенностей, возникающих из-за изменчивости данных (т. е. алеаторных неопределенностей).

4.11. Поскольку вулканы часто имеют сложную геологическую историю, может требоваться дополнительная информация для обеспечения комплексной оценки опасностей. Прежде всего, в базу данных следует включать любую информацию, характерную для вулканического источника, обнаруженного в данном географическом регионе. При этом необходимо также допускать, что геологическая летопись вулканической активности данного конкретного источника может быть неполной. В таких случаях при оценке потенциала будущих извержений целесообразным может быть дополнение информации, собранной в географическом регионе площадки, данными об активности аналогичных вулканов. Точно так же пространственное распределение вулканических продуктов, обнаруженных на аналогичных вулканах, может быть полезным для определения «значений расстояний для скрининговой оценки», т. е. максимального расстояния для данного типа вулканического явления и данного источника, за пределами которого последствия этого явления могут игнорироваться. В случае, когда подобная информация используется при оценке опасности, ее также следует включать в базу данных.

Геологические и вулканологические данные

4.12. Решения, касающиеся характеристики вулканических источников и определения значений расстояния для скрининговой оценки, основываются на информации о времени проявления и магнитуде активности в месте расположения возможных вулканических источников. Таким образом, в базу данных следует включать информацию о:

- a) типах (морфологии) и пространственном распределении вулканических источников и о геологических факторах контроля распределения этих вулканических источников (например, об их связи с тектоническими особенностями);
- b) количестве и времени извержений на каждом источнике;
- c) периодах покоя между извержениями и продолжительности эруптивных эпизодов на каждом источнике, если их можно определить;

- d) современном топографическом рельефе каждого возможного источника вулканической активности и его связи с рельефом площадки (такая информация может быть представлена в виде цифровой модели рельефа);
- e) диапазоне магнитуд извержения, о динамических процессах (таких как интенсивность и тип извержения) и об эруптивных продуктах;
- f) трендах в эруптивной активности, таких как пространственная миграция вулканических источников или эволюция геохимии во времени, а также об изменениях в объеме эруптивных продуктов.

4.13. В случае вулканических источников с задокументированной исторической активностью следует обеспечивать, чтобы в базе данных была представлена информация, необходимая для полного понимания масштаба и времени проявления этой активности. Следует предусматривать, чтобы вулканологическая информация, полученная из исторических источников, включала:

- a) координаты вулканических источников (широта, долгота, высота), а также даты и продолжительность извержений;
- b) описание типов эруптивных продуктов, включая их распространение по площади, объем и состав;
- c) данные о распространении по площади и характеристике (например, магнитуда, интенсивность, пиковое ускорение грунта и изменение во времени, если таковые данные имеются) соответствующей сейсмической активности, данные о деформации грунта и другой геофизической и гидрологической активности или аномалиях;
- d) описание современной активности вулкана, включая программы мониторинга и анализ данных мониторинга (таких как сейсмические данные и данные о деформации грунта), если таковые имеются.

4.14. В базу данных следует включать описания всех вулканических продуктов моложе 10 млн лет. Применительно к голоценовым и более молодым вулканам, в том числе являющимся активными в настоящее время, следует изучать полную геологическую историю вулкана, а не только период последней вулканической активности. В эту оценку следует включать оценку неопределенности в определении возраста. Например, как правило, стратиграфия пирокластических образований бывает сложной и неполной. В любом случае следует пытаться проводить оценку полноты геологической летописи, даже если все вулканические отложения не

закартированы. Следует предусмотреть, чтобы для обеспечения полного описания истории вулканической активности возраст вулканических отложений выражался численно и коррелировался.

4.15. Информацию, содержащуюся в базе данных, следует использовать в качестве фундаментальной основы при оценке потенциала воздействия конкретных явлений на площадку и определении значений расстояний для скрининговой оценки этих явлений. Для этого следует проводить сбор и обобщение данных о вулканических продуктах, способных достигать площадки при выходе из каждого из выявленных потенциальных источников. Следует выявлять и оценивать отложения моложе 10 млн лет в представляющем интерес географическом регионе для получения информации о:

- a) типе и распределении отложений и о выявлении вероятного источника или источников;
- b) возрасте и о вулканологических и петрологических характеристиках сопутствующих извержений и их продуктов.

4.16. Актуальность и полезность такого рода информации в значительной степени зависит от возраста отложений и полноты геологической летописи. Следует по возможности собирать полную вулканологическую информацию. Для сбора полной вулканологической информации может потребоваться бурение одной или нескольких скважин на площадке, а также каротаж и отбор образцов стратиграфического разреза, выявленного в этих скважинах. Образцы породы из этих скважин могут быть изучены в петрографическом и геохимическом отношении, и при необходимости может быть проведено радиометрическое определение возраста с использованием этих образцов.

4.17. При обнаружении вулканических отложений следует подготовить дополнительную информацию по каждому различимому эпизоду выпадения тефры, которое могло оказать воздействие на территорию площадки. Например, в базу данных следует также включать данные о выпадении тефры из близлежащего вулкана, которое не привело к отложениям на территории площадки, возможно, вследствие метеорологических условий во время извержения. По каждому отдельному отложению выпавшей тефры следует:

- a) составлять карты изопахит и изоплет, показывающие протяженность, толщину, объем, размеры фракций и ось рассеяния отложений;

- b) собирать данные об эквивалентной статической нагрузке отложений (во влажном и сухом состоянии);
- c) определять производные параметры извержения, такие как высота эруптивной колонны (если она прямо не наблюдается), массовая скорость извержения и продолжительность извержения.

4.18. По каждому различимому отложению, образованному пирокластическим потоком, пирокластической волной или вулканическим взрывом, которые могли воздействовать на район расположения площадки, следует собирать:

- a) информацию о толщине, объеме, плотности, площадном распределении, вероятных скоростях и температурах залегания и об оценках максимального динамического давления в процессе истечения потоков, когда это возможно и необходимо;
- b) данные о топографических особенностях, которые влияют на направление и кинетическую энергию потоков, движущихся под действием силы тяжести или направляемых вулканическими взрывами (следует также указывать территории, по которым такие потоки могли проходить, не оставляя измеримых отложений);
- c) выводы, полученные на основании таких данных об условиях в месте расположения источника в каждом случае (например, о высоте над жерлом, из которого исходит пирокластический поток при коллапсе колонны).

4.19. По каждому различимому отложению, образованному лавовым потоком, лахаром, потоком обломочного материала или обломочной лавиной, следует собирать данные о:

- a) территориях, затопленных этими потоковыми явлениями, а также о толщине и объеме отложений;
- b) вероятной температуре залегания, скорости и об оценках динамического давления и связанных с этим критериях для проведения различия между потоками, ассоциирующимися с магматической активностью, и потоками, не ассоциирующимися с магматической активностью;
- c) топографических особенностях, повлиявших на траекторию истечения потоков от источника, о скорости и распределении потоков и связи отложений с современным топографическим рельефом.

Данные геофизических и геохимических исследований

4.20. Данные, собранные с использованием инструментальных методов по отдельным потенциально активным вулканам в пределах представляющего интерес географического региона, могут улучшить общую оценку опасностей. Проведение исследований на таких вулканах преследует ряд целей:

- a) способствовать снижению уровня неопределенности в понимании конкретных вулканических явлений;
- b) обеспечить объективную основу для выявления изменений уровня активности данного вулкана и перспективы будущих эруптивных явлений;
- c) использовать возможности новых появившихся или усовершенствованных технологий или методов, укрепляющих имеющуюся информацию (например, вулканологическую базу данных) о конкретном вулкане;
- d) соблюдать требования безопасности при проведении мониторинга [1].

4.21. Тип и объем проводимых геофизических и геохимических исследований следует определять с учетом требований в отношении информации, необходимой для оценки вулканических опасностей. В случае выбора площадки для новой атомной электростанции вопрос о проведении этих исследований следует рассматривать на самом раннем этапе этого процесса. Геофизические и геохимические данные, полученные в результате бурения скважин в районе расположения площадки, в дополнение к поверхностным измерениям могут стать источником ценных данных о химическом составе воды и газа (например, о наличии магматических газов), температуре, напряженном состоянии, а также данных соответствующих наблюдений, имеющих отношение к оценке вулканических опасностей. Данные исследований следует интерпретировать и интегрировать с другими данными, используемыми в процессе оценки площадки, и включать в базу данных.

4.22. В следующих ниже пунктах дан краткий обзор некоторых различных известных методов исследования вулканов с целью оценки вулканической активности. По вопросам планирования, применения и анализа этих методов следует обращаться за консультацией к соответствующим специалистам. Следует поддерживать тесное сотрудничество с учреждениями, в ведении которых находятся существующие системы мониторинга, например с национальными организациями, в обязанности и компетенцию которых

входит прогнозирование вулканических извержений и смягчение последствий стихийных бедствий. При планировании и разработке методики исследований следует учитывать возможность того, что работа по сбору данных может перерасти в программу мониторинга действующих атомных электростанций [1].

Вулканосейсмические сигналы

4.23. Инструментальный мониторинг вулканосейсмических сигналов в целом признан одним из лучших методов обнаружения вулканической активности и изменений в состоянии вулкана. Вулканические волнения с потенциалом эруптивной активности можно распознать по определенным паттернам и типам вулканосейсмических сигналов, генерируемых внутри или вблизи вулкана. Для детектирования этих сигналов необходим специальный сейсмический мониторинг.

4.24. Правильно спроектированная, развернутая и эксплуатируемая сейсмографическая сеть мониторинга вулканов регистрирует все типы вулканосейсмических сигналов (например, тремор, а также переходные события), а ее технические возможности позволяют надлежащим образом характеризовать свойства этих сигналов. Например, новейшие методы в области сейсмической томографии и обнаружения глубинных треморов доказали свою эффективность при проведении исследований вулканических систем.

Деформация грунта

4.25. Деформация грунта и изменения в вулканическом рельефе могут служить признаками неустойчивости земной поверхности или подземного движения магмы, подземных вод и газов. Реактивация старых оползней обычно отражает неустойчивые грунтовые условия или деформацию грунта. Как правило, методы определения деформации грунта обеспечивают измерение колебаний высоты, углов и расстояний между точками в сети в установленные моменты времени. Эти измерения могут быть получены с помощью различных методов на местности или посредством дистанционного зондирования. Поскольку деформация грунта может быть чрезвычайно малозаметной или затушевана сопутствующими эффектами, сети мониторинга деформации грунта необходимо развертывать на ранней стадии оценки площадки.

Геомагнетизм и геоэлектричество

4.26. Измерения геомагнитных и геоэлектрических параметров могут быть полезны для понимания подземной структуры и положения магматических объектов или систем подземных вод, а также для обнаружения изменений в них. Результаты этих измерений могут способствовать более глубокому пониманию вулканических структур и крупномасштабных геофизических и геологических свойств вулканической постройки, таких как зоны гидротермальных изменений.

Сила тяжести

4.27. Гравиметрические измерения в районе расположения вулкана проводятся с целью получения полезной информации о свойствах горных пород, таких как пористость и плотность массы, а также о геологическом строении, таком как распределение разломов в постройках вулканов. В случаях, когда детальные измерения колебаний силы тяжести во времени могут быть выполнены в сочетании с точными измерениями деформации грунта, удастся обнаруживать движение вулканических флюидов или другие внутренние процессы массопереноса.

Газы

4.28. Состав и поток газов, выбрасываемых из вулкана через кратеры или фумаролы, или пассивно истекающих через земную поверхность, или поступающих в кратерные озера, позволяют получить полезную информацию о степени и характере вулканической активности. Многочисленные химические соединения и вариации изотопного состава газов могут указывать на преобладание ювенильного магматического происхождения или на гидротермальный или метеоритный источник газов. Для целей оценки опасностей следует определять площадь, подверженную такой дегазации, на основе измерения прямых эманаций из почвы на данной территории либо массовой концентрации в атмосфере. Колебания в выходе газов также могут свидетельствовать об изменении состояния вулкана.

Геотермальные аномалии и геотермальные флюиды

4.29. Изменения температуры, состава и расположении тепловых аномалий, связанных с фумаролами, жерлами, кратерными озерами, горячими и холодными источниками, почвами и снежными и ледяными полями, часто являются хорошими индикаторами вариаций вулканической

активности. Соответственно такая информация может быть получена путем осуществления программы наблюдений, обследований, мониторинга, проведения регулярных измерений на земной поверхности и применения методов дистанционного зондирования.

Циркуляция подземных вод

4.30. Вулканическая активность может вызывать значительные изменения в состоянии подземных вод, и ее воздействие иногда распространяется на большие расстояния. В этом отношении мониторинг колебаний уровня и расхода воды, а также изменений химического состава, температуры, проводимости и содержания растворенного газа в горячих или холодных источниках и кратерных озерах позволяет получить полезную информацию. Кроме того, целесообразно использовать другие, более специализированные методы, такие как батиметрические измерения и акустический мониторинг кратерных озер.

Другие феноменологические наблюдения

4.31. Детальные и регулярные визуальные наблюдения и обследования обеспечивают наиболее значимые первичные данные для оценки состояния активности вулкана. Иногда самые ранние признаки волнений могут быть обнаружены посредством элементарных наблюдений, например, это могут быть аномальные звуки, сотрясения участков земной поверхности и чувствительные для человека вибрации грунта, колебания температуры и активности фумаролов и горячих источников, узоры снеготаяния, высыхание колодцев, источников и озер и изменения в состоянии растительности. Следует проводить визуальные наблюдения за потоком, интенсивностью, цветом и другими характеристиками выхода газов или пара, поскольку они могут быть информативными и могут быть легко проведены и зафиксированы. Если такие визуальные наблюдения возможны, то, например, может потребоваться установка камер наблюдения видимого или инфракрасного диапазона для дистанционного наблюдения.

4.32. Первоначально многие простые феноменологические наблюдения могут носить эпизодический характер, однако в случае подтверждения результатов эти наблюдения следует формализовать и отражать в базе данных наряду с любой информацией, собранной более формальными средствами.

4.33. Следует обеспечивать, чтобы база данных также содержала следующую дополнительную информацию:

- a) статистические данные о сезонных направлениях и скоростях ветра как функции высоты над уровнем моря, когда это возможно;
- b) данные о дождевых осадках или снегопадах;
- c) источники данных, которые могут быть полезны для выявления потенциально неустойчивых склонов вулканов, способных привести к оползням и обломочным лавинам, например цифровые модели рельефа, топографические карты и гидрографические схемы.

4.34. В целях обеспечения удовлетворительной интерпретации результатов данные мониторинга вулканов следует использовать вместе с дополнительными метеорологическими данными. Они могут быть предоставлены в порядке сотрудничества службами мониторинга, осуществляемого для других целей на атомной электростанции, а также региональными, национальными или международными метеорологическими службами.

4.35. Следует проводить характеризацию водотоков, которые могут быть связаны с переносом вулканических продуктов к площадке или накоплением отложений вблизи нее, а также следует разрабатывать программы измерений. В определенных обстоятельствах могут потребоваться системы мониторинга для раннего предупреждения в режиме реального времени.

Мониторинг волнений и извержений

4.36. Выявленные потенциально активные вулканические источники включаются в программу мониторинга (см. пункт 3.9), и поэтому данные мониторинга, касающиеся волнений и извержений, следует вносить в базу данных. Для целей мониторинга часто используются многие из методов, рассматриваемых в данном разделе, такие как регистрация вулканосейсмических сигналов. Результаты мониторинга часто улучшаются за счет использования нескольких методов. В случае начала эруптивной активности потенциально активного вулкана следует вводить в действие программу систематического отбора образцов продуктов (например, лавы, пепла, аэрозолей) с целью получения детальной информации об эруптивном процессе и потенциале возникновения дальнейших опасных явлений. Такой сбор и документирование данных, касающихся волнений и извержений,

следует по возможности, координировать с учреждениями, в обязанности и компетенцию которых входит осуществление национальных программ мониторинга вулканов.

Новые методы

4.37. Арсенал новых и усовершенствованных методов мониторинга вулканов и геофизических и геохимических исследований вулканических систем продолжает пополняться. В связи с оценкой свойственных данной площадке вулканических опасностей или определением потенциальной активности вулкана основным критерием приемлемости любого нового метода мониторинга или новых исследований для использования в уже проводимой оценке вулканических опасностей является получение в результате проведения нового исследования или применения нового метода существенных данных или свидетельств в соответствующем контексте, а также широкое признание научным сообществом этих новых исследований и методов. При соблюдении этих условий данные, собранные с помощью таких методов, могут быть включены в базу данных, но в случае возникновения разногласий предпочтение следует отдавать данным, полученным с использованием апробированных современных методов. Следует также использовать данные, полученные для других целей (например, при проведении оценки других типов опасностей на площадке в целях выполнения требований в отношении обеспечения эксплуатационной безопасности или в рамках национальных или региональных программ по снижению опасностей).

5. СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

5.1. Этапы 1–3 оценки вулканической опасности (см. рис. 1) включают действия, направленные на выявление потенциально активных вулканов. Для этого следует применять иерархию решений по скрининговой оценке на основе учета потенциала будущей вулканической активности и местоположения площадки относительно источников опасных явлений. В данном разделе указаны критерии принятия решений на каждом этапе этой иерархической оценки.

ЭТАП 1: НАЧАЛЬНАЯ ОЦЕНКА

5.2. На данном этапе основное внимание следует сосредоточить на двух основных вопросах (упомянутых в пункте 3.5): i) определение соответствующего географического региона для начальной оценки вулканических опасностей и ii) сбор свидетельств вулканической активности, имевшей место в данном регионе в течение последних 10 млн лет. Этап 1 включает детальный анализ всех доступных источников информации с целью определения соответствующего географического региона, в котором находится площадка. В этот детальный анализ, как правило, следует включать геологические карты, результаты предыдущих геологических исследований и другую информацию, как указано в разделе 4. Критерии определения географического региона для оценки изложены в пунктах 4.4 и 4.5.

5.3. Применительно к явлениям, связанным с поверхностными потоками, следует учитывать топографический рельеф между площадкой и возможными вулканическими источниками. Районы с низким рельефом или широкими, неглубокими стоками могут быть неэффективными с точки зрения отвода поверхностных потоков даже от вулканов, расположенных на удалении более 100 км от площадки. И наоборот, районы с крутым рельефом и глубокими стоками могут эффективно улавливать и отводить низкоэнергетические поверхностные потоки от вулканов, расположенных гораздо ближе к площадке. Вместе с тем высокоэнергетические поверхностные потоки, такие как вулканические взрывы, могут легко преодолевать крутой рельеф. Определение соответствующего географического региона следует обосновывать для обеспечения того, чтобы при оценке должным образом учитывались потенциально опасные вулканы.

5.4. Следует обеспечивать, чтобы начальная оценка на этапе 1 включала оценку свидетельств проявления вулканической активности в течение последних 10 млн лет. Как указывается в пункте 2.7, 10 млн лет охватывают периоды региональной вулканической активности во многих вулканических дугах и внутриплитных вулканических областях. Кроме того, если доступны результаты современного радиометрического определения возраста, они, как правило, имеют решающее значение для проведения различий между магматическими породами, которые старше или намного моложе 10 млн лет, что сводит к минимуму возможность появления неоднозначности в имеющихся данных. Таким образом, если доказано отсутствие вулканизма в течение последних 10 млн лет, это означает, что годовая вероятность

будущих извержений составляет менее 10^{-7} в год и, следовательно, нет необходимости в проведении дальнейших исследованиях с целью оценки вулканических опасностей.

ЭТАП 2: ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ БУДУЩЕЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

5.5. Если результаты начальной оценки на этапе 1 указывают на то, что в географическом регионе присутствуют вулканические источники моложе 10 млн лет, то далее следует проводить дополнительную характеристику этих вулканических источников на основе дополнительных исследований на этапе 2.

5.6. Если результаты этапа 2 подтверждают свидетельства текущей вулканической активности, то возможны будущие извержения, и в оценке опасностей следует переходить к этапу 3. Свидетельства текущей вулканической активности включают исторические вулканические извержения, продолжающиеся вулканические волнения, активную гидротермальную систему (например, наличие фумарол) и сопутствующие явления.

5.7. Свидетельство извержения за последние 10 000 лет (т. е. в эпоху голоцена) является общепринятым индикатором того, что будущие извержения являются вероятными. Поскольку эпоха голоцена часто является легко узнаваемой геологической границей, в национальных и международных базах данных обычно проводится различие между вулканами, которые были активными в голоцене, и более старыми вулканами. Информация для определения наличия вулканической активности в голоцене может быть получена из нескольких источников. Радиометрическое датирование вулканических продуктов являются самым прямым доказательством вулканических извержений в эпоху голоцена.

5.8. В некоторых случаях, особенно на ранних стадиях исследований площадки, установление точного возраста наиболее поздних вулканических продуктов может быть затруднено. В таких случаях для оценки вулкана как голоценового вулкана могут применяться дополнительные критерии, включая: i) вулканические продукты, лежащие поверх ледниковых обломков последнего плейстоцена; ii) молодые вулканические формы

рельефа в районах, где эрозия должна была проявиться через многие тысячи лет; iii) растительность, которая была бы намного богаче, если бы вулканическим субстратам было более нескольких тысяч (или сотен) лет.

5.9. Специалисты могут расходиться во мнениях относительно свидетельств проявления вулканизма в голоцене, и может существовать значительная неопределенность в отношении наиболее достоверной оценки даты самого последнего извержения. В таких случаях вулканы следует классифицировать как голоценовые(?) вулканы⁶. С точки зрения безопасности будущие извержения следует считать вероятными в случае всех голоценовых вулканов, в том числе тех из них, данные об извержении которых в голоцене не определены, и следует переходить к этапу 3 анализа.

5.10. При отсутствии свидетельств современной или голоценовой активности следует проводить более детальную оценку времени проявления более ранней активности в регионе. Свидетельства извержения в течение последних 2 млн лет, как правило, указывают на то, что будущая вулканическая активность остается возможной. Более того, в случае некоторых вулканических систем, таких как распределенные вулканические поля или часто активные кальдеры, активность в течение примерно последних 5 млн лет может также указывать на определенный потенциал будущей активности. Для обеспечения надлежащей оценки следует проводить анализ геологических данных с целью определить, имеют ли какие-либо из вулканических источников в регионе, возраст которых достигает 10 млн лет, потенциал будущих извержений.

5.11. На этом этапе может быть применен вероятностный анализ потенциала будущих вулканических событий. Такими явлениями могут быть вулканические извержения или неэруптивная активность, такая как разрушение склонов в результате предыдущего извержения. Вероятностные подходы могут включать частотные методы, основанные на анализе повторяемости прошлых вулканических извержений, такие как байесовские методы, в которых может использоваться дополнительная вулканологическая информация, или модели процессов, например модели, основанные на соотношении «время–объем» эруптивных продуктов.

⁶ В соответствии с установившейся вулканологической терминологией, вулкан сомнительного голоценового возраста обозначается как голоценовый(?).

5.12. Как указано в пункте 2.7, в некоторых государствах значение годовой вероятности 10^{-7} используется при оценке опасности внешних событий в качестве приемлемого предела значения вероятности для взаимодействующих событий, приводящих к радиологическим последствиям [2]. Поскольку вулканизм является внешней опасностью, годовая вероятность возобновления вулканизма в регионе вокруг площадки (т. е. возникновения извержения) на уровне или ниже 10^{-7} может рассматриваться в качестве разумного критерия для начального решения по скрининговой оценке. Учитывая, что существует небольшая вероятность того, что опасное явление может достигать площадки в случае извержения, значение 10^{-7} является разумной основой для начального решения по скрининговой оценке потенциальных вулканических источников исходных событий. Вместе с тем регулирующему органу следует устанавливать приемлемое предельное значение годовой вероятности возникновения конкретного опасного вулканического явления.

5.13. Также могут использоваться детерминированные подходы. Например, могут быть изучены аналогичные вулканы с целью определения максимального периода времени между эпизодами эруптивной активности и использования этого перерыва в активности в качестве порогового значения. Для вулкана с продолжающимся периодом покоя возможность возвращения к активности может быть оценена путем сопоставления с этим пороговым значением. В такой детерминированный анализ следует включать рассмотрение вулканических процессов, приводящих к вулканической активности, и объяснение того, почему вулканы действительно являются аналогичными с точки зрения этих процессов.

5.14. При применении дополнительного детерминированного подхода могут быть проанализированы тренды соотношения «время–объем» или петрологические тренды в вулканической системе. Например, соотношение «время–объем» может указывать на очевидный тренд к затуханию и доказуемое прекращение вулканической активности в раннем плейстоцене или в более ранние периоды. В таких ситуациях можно утверждать, что возобновление вулканической активности маловероятно. В случаях, когда вывод на основе этих критериев не может быть достигнут, следует просто принимать допущение, что будущие извержения вероятны для любого вулкана моложе 10 млн лет.

5.15. Может быть обнаружено, что будущая вулканическая активность в данном географическом регионе считается менее вероятной, чем установленное приемлемое предельное значение годовой вероятности

возникновения события, как указано в пункте 5.12. При наличии достаточной информации, подтверждающей этот вывод, дальнейший анализ не требуется, и в проведении дополнительного исследования вулканических опасностей для данной площадки необходимости нет. И наоборот, отсутствие достаточных свидетельств или вывод о том, что будущие вулканические события в представляющем интерес регионе возможны, может обуславливать необходимость проведения дополнительного анализа, и следует переходить к этапу 3 в оценке опасностей.

ЭТАП 3: СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

5.16. В случаях, когда потенциал будущей вулканической активности в регионе расположения площадки выявлен или не может быть исключен, следует проводить анализ потенциала воздействия опасных явлений на площадку. Этот анализ следует выполнять по каждому из явлений, ассоциирующихся с вулканической активностью, которые перечислены в таблице 1. В некоторых случаях конкретные опасные явления могут быть исключены из дальнейшего рассмотрения, если вероятность распространения этих явлений на площадку является пренебрежительно малой. При принятии решений по скрининговой оценке следует рассматривать вопрос о том, могут ли такие явления быть результатом вторичных процессов или сценариев, включающих сложные последовательности вулканических событий (см. приложение I).

5.17. Детерминированный подход к оценке опасностей на данном этапе может основываться на значениях расстояний для скрининговой оценки каждого конкретного вулканического явления. Значения расстояний для скрининговой оценки представляют собой пороговые значения, за пределами которых в разумной степени невозможно ожидать распространения вулканических явлений. Значения расстояний для скрининговой оценки могут быть определены в единицах максимальной известной протяженности данного эруптивного продукта с учетом характеристик источникового вулкана и характера топографического рельефа на территории между источниковым вулканом и площадкой. Например, известно, что большинство потоков базальтовой лавы перемещаются от источников на расстояние, не превышающее 10–100 км. В случае большинства базальтовых вулканов в большинстве условий местности обоснованным можно считать общее значение расстояния для скрининговой оценки 100 км для потоков базальтовой лавы. На основе данных, собранных на аналогичных вулканах

или в случаях, когда топографический рельеф не позволяет данному явлению достигать площадки, обоснованным может быть значение более короткого расстояния для скрининговой оценки. Следует обеспечивать, чтобы в целом обоснование использования конкретных значений расстояния для скрининговой оценки в случае всех типов вулканических явлений соответствовало примерам из опыта, связанного с аналогичными вулканами.

5.18. Если площадка расположена за пределами расстояния для скрининговой оценки конкретного вулканического явления, то дальнейший анализ этого явления не требуется. Вместе с тем, если будущая вулканическая активность представляется возможной и если площадка находится в пределах расстояния для скрининговой оценки применительно к данному вулканическому явлению, то следует признавать вулкан или вулканическое поле потенциально активным и проводить оценку свойственных данной площадке опасностей (т. е. выполнять действия этапа 4). Этот анализ следует проводить применительно к каждому вулканическому явлению, связанному с каждым потенциально активным вулканом, поскольку для различных явлений могут приниматься разные значения расстояния для скрининговой оценки.

5.19. Дополнительный подход к оценке опасностей на данном этапе заключается в оценке условной вероятности того, что данное вулканическое явление достигнет площадки при извержении вулканического источника. Для оценки этой вероятности имеется несколько методов. Эти методы рассматриваются далее в разделе 6. В некоторых обстоятельствах одних только данных о характеристиках площадки может быть недостаточно для получения надежной оценки этой вероятности, поскольку геологическая летопись не полностью отражает прошлую активность вулканов и поскольку в прошлой вулканической активности мог проявляться не весь спектр потенциальных явлений, которые могут возникнуть в связи с будущим вулканическим событием.

5.20. Оценка условной вероятности конкретного вулканического явления с сопутствующими неопределенностями может дать ряд значений вероятности, которые могут быть использованы при оценке площадки. Если потенциал того, что вулканическое событие способно продуцировать какое-либо явление, которое может достигать площадки, является пренебрежимо малым, то дальнейший анализ не требуется и вулканические опасности не могут считаться вероятными событиями, учитываемыми

в проектной основе площадки. Если использование только условной вероятности является недостаточным для поддержки скрининговой оценки, следует рассматривать потенциальную активность вулкана.

5.21. Как указано в пункте 2.7, в некоторых государствах значение годовой вероятности 10^{-7} используется при оценке опасности внешних событий в качестве приемлемого предела значения вероятности для взаимодействующих событий, приводящих к серьезным радиологическим последствиям [2]. Таким образом, годовая вероятность возникновения опасных явлений, оказывающих воздействие на площадку, при условии, что исходное вулканическое событие происходит с вероятностью на уровне 10^{-7} или ниже, может рассматриваться в качестве разумного критерия, на котором основываются решения по скрининговой оценке, аналогично тому, как это рекомендуется на этапе 2 (см. пункт 5.12). Годовая вероятность может быть рассчитана, например, путем умножения вероятности возникновения вулканического события на вероятность того, что явление, ассоциирующееся с этим событием, достигнет площадки в случае возникновения этого события. Такое умножение вероятностей возникновения исходного (инициирующего) события на условную вероятность также обеспечивает подходящую основу для идентификации потенциально активного вулкана или вулканического поля. Для явлений, ассоциирующихся с критериями исключения площадки из рассмотрения, как указано в таблице 1, может быть принято приемлемое предельное значение годовой вероятности возникновения события 10^{-7} , и в любом случае приемлемое предельное значение следует устанавливать по согласованию с регулирующим органом. В итоге следует проводить оценку свойственных данной площадке вулканических опасностей (этап 4) в отношении явлений, возникновение которых может быть связано с потенциально активными вулканами.

5.22. Между магнитудой вулканических извержений и, следовательно, их потенциальной возможностью воздействовать на площадку, а также степенью достоверности, с которой можно оценить вероятность вулканических событий, существует определенная взаимосвязь. Небольшие извержения часто оставляют мало или вообще не оставляют свидетельств в геологической летописи. Поэтому частотность небольших извержений может характеризоваться большой неопределенностью. Также, если только извержения с большой магнитудой могут оказывать воздействие на площадку, то именно вероятность этих извержений с большой магнитудой представляет наибольший интерес при определении потенциальной активности вулкана. Поскольку извержения с большой магнитудой, как правило, оставляют значительный геологический след,

при оценке вероятности извержений с большой магнитудой на основе геологической летописи прошлой активности может быть достигнута более высокая степень определенности. При проведении оценки вероятности возникновения таких мощных вулканических явлений следует использовать концептуальную модель вулкана, отражающую характер и эволюцию вулканических процессов. Вместе с тем, оценивая весь спектр неопределенностей в летописи прошлых событий, следует проявлять осторожность и избегать уделения чрезмерного внимания масштабным событиям, которые хорошо отражены в геологической летописи.

5.23. Многие вулканические явления связаны между собой посредством различных процессов, и поэтому при применении детерминированных и вероятностных подходов процессы не следует рассматривать изолированно друг от друга, а следует прямым образом учитывать взаимосвязанные и сопряжённые эффекты. Например, выпадение тефры на отдаленных рельефных склонах иногда создает новые области расположения источников образования потоков обломочных материалов и лахаров. Потоки обломочного материала и лавовые потоки могут приводить к образованию водоемов. В решениях по скрининговой оценке следует учитывать вторичные источники опасностей, возникающие в результате таких комплексных факторов (см. дополнение и приложение I).

6. ОЦЕНКА СВОЙСТВЕННЫХ ДАННОЙ ПЛОЩАДКЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

6.1. Данный раздел содержит руководящие материалы по оценке свойственных данной площадке вулканических опасностей в случае, если в рассматриваемом географическом регионе выявлены один или несколько потенциально активных вулканов. Эти руководящие материалы следует использовать при проведении оценки вулканических опасностей, свойственных данной площадке, предназначенной для размещения на ней атомной электростанции, на этапе 4 оценки вулканических опасностей (рис. 1).

6.2. Вулканические явления, перечисленные в разделе 2 и описанные в дополнении, подлежат скрининговой оценке на этапах 1–3 процесса оценки опасностей. В случае, если вулканические явления, не были исключены в результате скрининговой оценки на этапах 1–3, необходимо проводить их

дальнейшее рассмотрение в рамках оценки свойственных данной площадке вулканических опасностей с целью определения частотности, характера и магнитуды потенциальных опасностей. Оценку следует проводить так, чтобы она обеспечивала получение информации, достаточной для принятия решения в отношении возможности разработки проектной основы или другого практически осуществимого решения применительно к данной вулканической опасности. Если проектная основа или другое практическое решение (например, меры по защите площадки) для данной вулканической опасности не могут быть разработаны, площадку следует признавать непригодной.

6.3. Как и в случае решений по скрининговой оценке, принимаемых на этапах 2 и 3, для оценки вулканических опасностей на этапе 4 может требоваться применение сочетания детерминированного и вероятностного подходов. В случае детерминированных методов пороговые значения определяются на основе результатов эмпирических наблюдений, относящихся к вулканической активности в прошлом, аналогичной информации по другим вулканам и/или численного симуляционного моделирования вулканических процессов. Решения по пригодности площадки и по определению проектных основ принимаются исходя из превышения или не превышения этих пороговых значений. При применении вероятностных методов также могут использоваться результаты эмпирических наблюдений, аналогичные данные по другим вулканам и/или результаты численного симуляционного моделирования для построения вероятностного распределения с целью установления вероятности превышения опасным явлением определенной величины. На анализе этих распределений вероятности базируются решения по пригодности площадки и по определению проектных основ. В случае применения любого из указанных методов следует проводить оценку как потенциала возникновения вулканических событий, так и потенциальных последствий этих событий для атомной электростанции. Эта оценка проводится в рамках общей оценки свойственных данной площадке вулканических опасностей.

6.4. Каждую вулканическую опасность, включенную в проектную основу, следует определять количественно, с тем чтобы ее можно было сравнивать, насколько это возможно, с характеристиками проектной основы для других внешних событий. В некоторых случаях может быть установлено, что проектные основы, разработанные для других внешних событий, уже включают проектные параметры, рассчитанные применительно к определенным вулканическим опасностям. Например, физические нагрузки,

возникающие в результате выпадения тефры, могут перекрываться характеристиками по физическим нагрузкам, предусмотренными в отношении других внешних событий.

6.5. В следующих ниже пунктах изложены рекомендации в отношении вулканических явлений, которые следует учитывать при оценке свойственных данной площадке вулканических опасностей. Соответствующая вулканическая информация по каждому из этих явлений приводится в дополнении.

ВЫПАДЕНИЕ ТЕФРЫ

6.6. Выпадение тефры является наиболее распространенным опасным вулканическим явлением. Даже минимальное накопление тефры может нарушить нормальную работу атомной электростанции. К опасностям, связанным с выпадением тефры, относятся: статическая нагрузка на конструкции; воздействие фракций; засорение и истирание в системах циркуляции воды; механическое и химическое воздействие на системы вентиляции, электрические системы и системы контроля и управления; концентрация частиц в атмосфере в районе размещения атомной электростанции. Вода может значительно увеличивать статическую нагрузку на отложение тефры. Фракции тефры обычно имеют на своих поверхностях адсорбированные продукты кислотного выщелачивания (например, SO_4^{2-} , F^- , Cl^-) и поэтому могут вызывать химическую коррозию, а также загрязнение источников воды.

6.7. При оценке опасности выпадения тефры применительно к каждому потенциально активному вулкану следует рассматривать:

- a) потенциальные источники тефры;
- b) магнитуду вулканических извержений, способных продуцировать тефру, и физические характеристики этих извержений;
- c) частоту извержений, продуцирующих тефру;
- d) метеорологические условия между областями расположения источников и площадкой, которые будут воздействовать на перенос и отложение тефры;
- e) вторичные последствия извержений тефры, такие как повышенная вероятность образования лахаров и потенциал возникновения загрязнения и химической коррозии, которые могут негативно воздействовать на безопасную эксплуатацию атомной электростанции.

Детерминированная оценка

6.8. При применении детерминированного подхода следует определять пороговое значение максимальной вероятной толщины отложений выпавшей тефры на площадке. Например, фактические отложения в результате извержения аналогичных вулканов могут быть использованы для определения максимальной толщины (мощности) отложений на площадке, которые могут возникнуть при извержении потенциально активного вулкана. По этим отложениям могут быть оценены характеристики крупности фракций (т. е. гранулометрический состав и максимальный размер обломков). Аналогичные отложения или извержения также позволяют получить информацию о растворимых ионах, которые образуют кислотные конденсаты, сопровождающие процессы выпадения тефры. Численные модели выпадения тефры могут быть также использованы для определения порогового значения на основе накопления тефры на площадке применительно к конкретным условиям извержения и метеорологическим условиям. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.9. При применении вероятностного подхода следует предусматривать проведение численного симуляционного моделирования выпадения тефры на площадке. Для такого анализа следует использовать симуляционное моделирование методом Монте-Карло или с применением других соответствующих методов симуляционного моделирования выпадения тефры для каждого потенциально активного вулкана с учетом изменений в объеме извержения, высоте эруптивной колонны, общем гранулометрическом составе и распределении скорости ветра в данном регионе как функции высоты над уровнем моря и связанных с ней параметров. Такие модели позволяют получить частотное распределение накопления тефры, обычно представляемое в виде кривой годовой частоты превышения для данной опасности (или «кривой опасности»). Неопределенность в результирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных уровней следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.10. Как указано в таблице 1, последствия выпадения тефры не относятся к критериям исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия могут быть смягчены посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки результаты оценки выпадений тефры для каждого потенциально активного вулкана следует выражать посредством таких параметров, как накопление массы, скорость накопления и гранулометрический состав. Для оценки статических нагрузок, которые включаются в проектную основу атомной электростанции, вклад каждого потенциально активного вулкана следует представлять в виде единого для данной площадки максимального вероятного значения или единой кривой опасности для выпадения тефры. Эта информация может быть также использована для оценки гранулометрического состава и потенциала ремобилизации отложений тефры, которые могут создавать концентрацию частиц в атмосфере или потоках обломочного материала и лахарах. Опасности, связанные с выпадением тефры, также могут возникать в результате открытия новых жерл.

ПИРОКЛАСТИЧЕСКИЕ ПЛОТНОСТНЫЕ ТЕЧЕНИЯ: ПИРОКЛАСТИЧЕСКИЕ ПОТОКИ, ВОЛНЫ И ВЗРЫВЫ

6.11. Пирокластические потоки, волны и взрывы, определяемые общим термином «пирокластические плотностные течения», сопутствуют не только взрывным вулканическим извержениям, но и эффузивным вулканическим извержениям, образующим лавовые купола и мощные лавовые потоки. Воздействия пирокластических плотностных течений очень сильно отражаются на препятствиях на пути движения потоков, так как они перемещаются с высокими скоростями и, как правило, при высоких температурах (например, выше 300°C). Кроме того, они обладают разрушительной силой вследствие импульса, создаваемого массивной огибающей ландшафт смесью горячих лавовых блоков, пепла и вулканических газов. Толщина отложений от пирокластических плотностных течений может превышать десятки метров. Воздействие пирокластических плотностных течений может превышать многие общие параметры проектных основ, и поэтому их следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения (см. таблицу 1).

6.12. Пирокластические потоки могут сдерживаться топографическим рельефом, однако пирокластические волны и взрывы в меньшей степени зависят от рельефа и обычно способны преодолевать большинство топографических препятствий. Все типы пирокластических плотностных течений, как известно, могут преодолевать топографические препятствия в определенных условиях и протекать по большим водоемам.

6.13. При оценке опасности пирокластических плотностных течений в случае каждого потенциально активного вулкана следует рассматривать:

- a) потенциальные источники взрывных вулканических событий и лавовых куполов и потоков, которые могут коллапсировать;
- b) магнитуду потенциальных вулканических извержений и физические характеристики извержений, которые приводят к образованию пирокластических плотностных течений;
- c) частоту взрывных вулканических извержений или коллапсов купола, которые приводят к различным типам пирокластических плотностных течений;
- d) топографический рельеф между областями расположения источника и площадкой, который может влиять на путь движения потока и протяженность пирокластических плотностных течений;
- e) вторичные последствия отложений от пирокластических плотностных течений, такие как повышенная вероятность возникновения лахаров и потоков обломочного материала.

Детерминированная оценка

6.14. При применении детерминированного подхода следует рассматривать объем и энергию пирокластического плотностного течения, образующегося в результате извержения, и поэтому следует устанавливать пороговые значения на основе потенциального максимального расстояния распространения (дальности выброса). Принимаемые значения расстояния для скрининговой оценки применительно к этим явлениям могут быть определены на основе объема и характера отложений от пирокластических плотностных течений, выявленных в данном географическом регионе, или на основе данных о потоках, выявленных на аналогичных вулканах. Оценку потенциальной дальности выброса также можно проводить с применением численных моделей. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

6.15. Пороговые значения, указанные для пирокластических потоков, волн и взрывов, не обязательно должны быть одинаковыми. Например, пирокластические волны могут также образовываться из пирокластических потоков и могут простираются на несколько километров за пределы фронта пирокластического потока. В этих условиях значение расстояния для скрининговой оценки в случае пирокластических волн, как правило, будет больше, чем в случае пирокластических потоков.

Вероятностная оценка

6.16. Вероятность возникновения пирокластических плотностных течений следует рассчитывать как условную вероятность извержения данной интенсивности, умноженную на условные распределения вероятности для:

- a) возникновения пирокластических плотностных течений;
- b) дальности распространения этих явлений;
- c) факторов направленности.

Следует обеспечивать, чтобы значение условной вероятности пирокластических плотностных течений было репрезентативным для физических свойств магмы, динамики извержения, включая взаимодействие с гидротермальными и подземными водными системами, а также физики распространения и диффузии потока. Во многих случаях для уточнения оценки можно использовать данные прошлого о частотности и характере пирокластических плотностных течений для потенциально активного вулкана и аналогичных вулканов. Неопределенность в результирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных уровней следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.17. Как указано в таблице 1, последствия пирокластических плотностных течений следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия не могут быть смягчены посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки при вынесении решений о пригодности площадки в связи с опасностями, создаваемыми пирокластическими плотностными течениями, следует учитывать ряд дополнительных факторов. Для определения как пороговых значений, так и вероятностей,

относящихся к большинству пирокластических плотностных течений, может применяться энергетическая модель конуса, представляющая собой эмпирическую модель, обычно используемую для оценки потенциальной дальности выброса. Усовершенствованные численные модели пирокластических плотностных течений в сочетании с симуляционным моделированием методом Монте-Карло или другими соответствующими методами симуляционного моделирования могут обеспечить получение вероятностных оценок дальности распространения соответствующих разрушительных последствий. В этом направлении в настоящее время ведутся интенсивные вулканологические исследования, однако комплексные динамические модели пирокластических потоков и волн пока еще окончательно не разработаны. Поэтому при проведении как детерминированных, так и вероятностных оценок следует использовать результаты разнообразных наблюдений и применения разных методов моделирования. Пирокластические плотностные течения могут приводить к возникновению вторичных опасностей, таких как выпадения тефры, потоки обломочного материала и цунами.

ЛАВОВЫЕ ПОТОКИ

6.18. Лавовые потоки, как правило, разрушают или накрывают завалом постройки и инженерные сооружения на своем пути. Воздействие лавовых потоков зависит прежде всего от двух факторов: i) физических характеристик лавы и ii) интенсивности выброса и продолжительности извержения. Морфология жерла и топографический рельеф, по которому движутся лавовые потоки, также являются факторами, определяющими длину лавовых потоков. Лавовые потоки оказывают прямое воздействие вследствие возникающих динамических и статических нагрузок и высокой температуры (до 1200°C). Воздействие лавовых потоков обычно превышает многие общие параметры проектных основ, и их следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения (см. таблицу 1).

6.19. При оценке опасности, ассоциирующейся с лавовыми потоками, в случае каждого потенциально активного вулкана следует рассматривать:

- a) потенциальную мощность лавовых потоков (например, массовую интенсивность выброса, распространение по площади, скорость, толщину);
- b) частоту возникновения будущих эффузивных вулканических извержений;

- c) эруптивный сценарий (например, отдельные лавовые потоки, лавовые трубы, потоковые поля);
- d) физические свойства изверженной лавы.

Детерминированная оценка

6.20. При проведении детерминированной оценки сначала следует рассматривать расположение жерл и потенциальное образование новых вулканических жерл. Далее при оценке опасностей лавовых потоков следует определять пороговые значения на основе максимальной вероятной длины, распространения по площади, мощности (толщины), температуры и потенциальной скорости лавовых потоков, которые могут достигать территории атомной электростанции. Для этого могут использоваться данные, полученные для других вулканов данного географического региона, аналогичных вулканов, а также данные эмпирических или численных моделей залегания лавовых потоков. Некоторые эмпирические модели залегания лавовых потоков базируются на корреляциях между длиной лавового потока и интенсивностью излияния, в то время как другие модели ограничиваются параметрами объема. Следует учитывать топографический рельеф вдоль пути распространения потока и на территории атомной электростанции. Таким образом, для лавовых потоков можно определить значение расстояния для скрининговой оценки, при превышении которого проникновение (инкурсия) лавы не считается вероятным событием. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.21. При применении вероятностного подхода следует также учитывать расположение жерл и потенциальное образование новых вулканических жерл. В рамках вероятностного подхода следует проводить численное моделирование лавовых потоков, применяя численное симуляционное моделирование посредством стохастических методов применительно к каждому потенциально активному вулкану с учетом диапазона значений параметров, определяющих длину и мощность (толщину) потока. В численном симуляционном моделировании ключевыми параметрами, которые определяют моделируемое залегание лавового потока, являются расположение жерл, топографический рельеф, интенсивность выброса, вязкость потока и продолжительность извержения. В вероятностных оценках используются модели лавовых потоков в сочетании с симуляционным моделированием методом Монте-Карло и другими применимыми методами симуляционного моделирования. Для повышения точности вероятностного

анализа могут быть использованы результаты эмпирических наблюдений, относящиеся к потенциально активным вулканам и аналогичным вулканам. Далее следует строить и объединять кривые опасности лавовых потоков для определения годовой частоты превышения для различных уровней проникновения (инкурсии) лавовых потоков и мощности (толщины) лавы на атомной электростанции. Неопределенность в результирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных интервалов следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.22. Как указано в таблице 1, последствия лавовых потоков следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия не могут быть смягчены посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки при вынесении решений о пригодности площадки в связи с опасностями, создаваемыми лавовыми потоками, следует учитывать ряд дополнительных факторов. Следует обеспечивать, чтобы в результате применения вероятностных или детерминированных подходов были получены оценки потенциала попадания лавы на территорию атомной электростанции и возможной мощности лавового потока, а также его тепловых свойств. В этой оценке следует учитывать последствия явлений, ассоциирующихся с лавовыми потоками, таких как возникновение наводнений в результате взаимодействия со льдом и снежными полями, образование водоемов, открытие новых жерл и образование пирокластических потоков в результате обрушения вязких лавовых куполов и потоков.

ОБЛОМОЧНЫЕ ЛАВИНЫ, ОПОЛЗНИ И РАЗРУШЕНИЯ СКЛОНОВ

6.23. Обломочные лавины, возникающие в результате коллапса постройки, следует рассматривать отдельно от других разрушений склонов главным образом из-за потенциально очень больших объемов (возможно, превышающих несколько десятков кубических километров), высоких скоростей и значительных расстояний выброса (которые, например, могут превышать 150 км). Другие меньшие по масштабу разрушения склонов могут рассматриваться в рамках других (т. е. невулканических) геотехнических опасностей [6]. Воздействие вулканических обломочных лавин носит преимущественно механический характер из-за массы

материала и его скорости, а также большой толщины, до которой могут накапливаться эти отложения. Учитывая большой диапазон объемов и, следовательно, последствий для площадки, воздействия обломочных лавин, оползней и разрушений склонов, как правило, следует признавать критерием отклонения площадки.

6.24. При оценке опасности обломочных лавин, оползней и разрушений склонов в случае каждого потенциально активного вулкана следует учитывать:

- a) выявление областей расположения источников этих событий, включая территории потенциальной неустойчивости;
- b) потенциальную магнитуду (т. е. объем, распространение по площади, мощность) этих событий;
- c) частотность таких событий;
- d) потенциальные пути движения потоков;
- e) влияние вулканической активности на изменения таких факторов, как уровень подземных вод, состояние поверхностных вод, статические и динамические нагрузки и другие факторы, которые могут способствовать развитию этих событий.

Следует также учитывать изменения характеристик потока вдоль пути, а также топографический рельеф на дистанции от области расположения источника до атомной электростанции, принимая во внимание, что рельеф может изменяться в ходе извержения, тем самым значительно изменяя траектории потоков.

Детерминированная оценка

6.25. При применении детерминированного подхода следует определять пороговые значения максимального вероятного объема, дальности выброса и толщины лавинных отложений на площадке, используя информацию, собранную по фактическим отложениям на аналогичных вулканах и по моделям залегания лавинных потоков. Таким образом, для обломочных лавин и других связанных с ними массовых потоков можно определить значение расстояния для скрининговой оценки, при превышении которого они не считаются вероятными событиями. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.26. При применении вероятностного подхода следует предусматривать проведение численного моделирования этих потоков, применяя численное симуляционное моделирование с использованием стохастических методов для каждого потенциально активного вулкана, в котором учитывается диапазон значений параметров, определяющих геометрию области расположения источника и длину, скорость, объем и мощность (толщину) потока. Точность вероятностных методов может быть повышена посредством использования данных летописи вулканических событий в районе потенциально активного вулкана и анализа аналогичных событий, связанных с другими вулканами. Далее следует строить и объединять кривые опасности для определения вероятности проникновения (инкурсии) на территорию площадки. Неопределенность в результирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных интервалов следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.27. Как указано в таблице 1, последствия обломочных лавин, оползней и разрушений склонов следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия не могут быть смягчены посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер, если такие последствия возникают в районе расположения площадки или если они оказывают прямое воздействие на площадку. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки при вынесении решений о пригодности площадки в связи с обломочными лавинами, оползнями и разрушениями склонов следует учитывать ряд дополнительных факторов. Следует обеспечивать, чтобы результаты применения вероятностных или детерминированных подходов включали оценки возможности проникновения (инкурсии) на территорию площадки, а также мощности (толщины) и скорости потока. При проведении оценки опасностей следует учитывать другие косвенные явления, связанные с обломочными лавинами, оползнями и разрушениями склонов, такие как выпадение тефры, летящие обломки, волны давления, потоки обломочного материала, наводнения и цунами. Большие разрушения склонов являются потенциальными неэруптивными вулканическими событиями и могут инициироваться осадками или тектоническими землетрясениями.

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПОТОКИ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА, ЛАХАРЫ И НАВОДНЕНИЯ

6.28. Потоки обломочного материала, лахары и ассоциирующиеся с ними наводнения вулканического происхождения следует рассматривать отдельно от других обычных наводнений главным образом из-за короткого времени для предупреждения после начала выброса потока, высокой скорости и интенсивности выброса, большого объема потока и значительных расстояний выброса (которые, например, могут превышать 150 км). В дополнение к последствиям, связанным с обычным затоплением, потоки обломочного материала и лахары оказывают механическое воздействие вследствие массы материала, скорости его движения и, следовательно, его эрозионной способности. Явления и последствия потоков обломочного материала и лахаров могут сохраняться в течение от нескольких месяцев до десятилетий после вулканических извержений, поскольку вулканические продукты, такие как пирокластическое плотностное течение и отложения тефры, со временем могут ремобилизоваться. Отложения потоков обломочного материала и лахаров по толщине могут достигать значительных размеров (например, несколько десятков метров). Учитывая большой диапазон объемов и, следовательно, последствий для площадки, воздействия потоков обломочного материала, лахаров и наводнений, как правило, следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения. Вместе с тем в некоторых случаях их воздействие может быть компенсировано посредством соответствующей планировки площадки и установки, проектных решений, а также защитных мер на площадке. Наводнения, ассоциирующиеся с вулканическими событиями, следует рассматривать аналогично наводнениям невулканического происхождения [5].

6.29. При оценке опасности лахаров, потоков обломочного материала и наводнений вулканического происхождения в случае каждого потенциально активного вулкана следует учитывать:

- a) выявление потенциальных областей расположения источников вулканических обломков и воды, включая снежные шапки и ледники;
- b) потенциальную величину и характеристики потока;
- c) потенциал изменения свойств потока вдоль пути движения, источников воды и топографического рельефа между областью расположения источника и атомной электростанцией;
- d) частотность таких событий в прошлом;

- е) метеорологические данные в области расположения источника и вдоль потенциального пути таких потоков.

Детерминированная оценка

6.30. При применении детерминированного подхода следует определять пороговые значения максимального вероятного объема, дальности выброса и толщины потока обломочного материала и лахарных отложений на площадке, используя информацию, собранную по фактическим отложениям от близлежащих аналогичных вулканов и по моделям залегания потоков обломочного материала. Таким образом, для этих потоков можно определить значение расстояния для скрининговой оценки, при превышении которого они не считаются вероятными событиями. Наводнения вулканического происхождения следует оценивать в соответствии с описанием, изложенным в [5]. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.31. В рамках вероятностного подхода следует проводить численное моделирование этих потоков, применяя численное симуляционное моделирование посредством стохастических методов применительно к каждому потенциально активному вулкану с учетом диапазона значений параметров, определяющих геометрию потока и интенсивность выброса. Точность этих моделей может быть повышена посредством использования результатов эмпирических наблюдений, относящихся к потокам обломочного материала и лахаровым отложениям в районе потенциально активного вулкана, а также таких же наблюдений, связанных с аналогичными вулканами. Далее следует строить кривые опасности для определения значений годовой частоты превышения для проникновения (инкурсии) потока на территорию площадки и интенсивностей выброса. Неопределенность в результирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных интервалов следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.32. Как указано в таблице 1, последствия вулканических потоков обломочного материала, лахаров и наводнений следует в принципе признавать критерием исключения площадки из рассмотрения. Вместе с

тем, поскольку их воздействие может быть компенсировано посредством соответствующей планировки площадки и установки, проектных решений, эксплуатационных мер и защитных мер на площадке, следует определять соответствующую проектную основу. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки при разработке проектной основы и вынесении решений о пригодности площадки в связи с потоками обломочного материала, лахарами и связанными с ними наводнениями следует учитывать ряд дополнительных факторов. Следует обеспечивать, чтобы в результате применения вероятностных или детерминированных подходов были получены оценки потенциальной возможности их попадания на территорию атомной электростанции, а также вероятной геометрии потоков и интенсивности выброса. Следует также учитывать косвенные последовательности событий, такие как: выпадение тефры из мощных вулканических источников на соседней заснеженной горе, которая может быть источником потоков обломочного материала; наводнения, образующиеся в результате извержения под слоем льда или снега; внезапный выброс воды и обломочного материала вследствие разрушения вулканических плотин в кратерах или долинах, заполненных вулканическим обломочным материалом.

ОТКРЫТИЕ НОВЫХ ЖЕРЛ

6.33. Открытие новых жерл — это геологическое явление, которое может привести к появлению опасностей для атомной электростанции, связанных со значительными потоками, выпадением тефры, образуемыми вулканом обломками и деформацией грунта. Новые жерла могут иметь круглую форму или сильно вытянутые трещины. Жерла обычно образуют кластеры на вулканических полях или тесно связаны с крупными вулканическими системами, такими как щитовые и сложные вулканы и кальдеры. Во время некоторых вулканических извержений образуется множество новых жерл. Поэтому при оценке опасностей, исходящих от каждого потенциально опасного вулкана или вулканического поля, следует учитывать вулканические явления, способные возникнуть в результате и во время вулканического извержения, такие как выпадение тефры, лавовые потоки, лавовые купола и пирокластические потоки, которые могут выходить из новых жерл, а также из существующих жерл. Открытие новых жерл в районе расположения площадки следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения (см. таблицу 1).

6.34. Для оценки вероятности образования новых жерл требуется информации о распределении и возрасте вулканических жерл в регионе. С целью выявления жерл, оказавшихся погребенными в результате последующей активности или скрытых иным образом, часто используется дополнительная информация, такая как результаты геофизических исследований региона. Кроме того, геологические и геофизические модели региона площадки часто позволяют получить важную информацию о геологических факторах контроля распределения жерл, например о взаимосвязи между жерлами и разломами или аналогичных тектонических особенностях.

Детерминированная оценка

6.35. При проведении детерминированной оценки возможности образования нового жерла следует определять значение расстояния для скрининговой оценки данной площадки, при превышении которого образование нового жерла не считается вероятным событием. В детерминированном анализе следует также учитывать дополнительную информацию, например о значительных изменениях в тектонической обстановке по мере удаления от существующего вулканического поля. Помимо образования нового жерла при проведении такого детерминированного анализа следует учитывать расстояние, на которое эруптивные продукты могут удаляться от нового жерла. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.36. В современных методах анализа вулканических опасностей, ассоциирующихся с образованием новых жерл, как правило, предусматривается применение вероятностного подхода. При проведении вероятностной оценки опасностей следует оценивать пространственную функцию плотности вероятности, которая описывает пространственную или пространственно-временную интенсивность вулканизма в регионе. В анализ следует включать дополнительную геологическую или геофизическую информацию. Помимо образования нового жерла при проведении вероятностного анализа следует учитывать расстояние, на которое эруптивные продукты могут удаляться от нового жерла. Неопределенность в результирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных интервалов следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.37. Как указано в таблице 1, последствия открытия новых жерл следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия не могут быть смягчены посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер, если такие последствия возникают в районе расположения площадки или если они оказывают прямое воздействие на площадку. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки при вынесении решений о пригодности площадки в связи с открытием новых вулканических жерл следует учитывать ряд дополнительных факторов. Результаты этого анализа могут быть выражены как вероятность образования нового жерла в течение определенного периода времени (например, за год) и в пределах определенной территории (например, в районе расположения площадки). При оценке опасности других вулканических явлений, таких как лавовые потоки, образуемые вулканом обломки, выпадение тефры и пирокластические волны, следует учитывать потенциал образования новых жерл. В случае открытия новых жерл в районе расположения площадки может возникать деформация грунта большой величины (например, метровой), вулканическая сейсмичность и газовые потоки. Во время многих вулканических извержений образование нового жерла может быть связано с фреатической или фреатомагматической активностью, которая, как правило, характеризуется сильной эксплозивностью. В таких обстоятельствах открытие нового жерла в водном объекте или неглубоких системах подземных вод может привести к значительно более эксплозивному извержению, чем засвидетельствовано продуктами прошлых извержений.

ОБРАЗУЕМЫЕ ВУЛКАНОМ ОБЛОМКИ

6.38. Воздействие образуемых вулканом летящих обломков можно сравнить с ударами связанных с торнадо летящими предметами или ударами от падения летательных аппаратов, однако потенциальное количество образуемых вулканом обломков, которые могут упасть на территорию атомной электростанции, может быть очень высоким. Внутри жерла фракции имеют скорость на уровне от 50 до 300 м/с, а дальность разлета зависит от их размера и аэродинамического сопротивления, которое может снижаться за фронтом ударных волн, создаваемых крупными извержениями. Эти факторы означают, что даже крупные, плотные фракции (например, диаметром один метр) могут пролететь километры от вулканического жерла.

При проведении оценки опасностей, исходящих от каждого потенциально активного вулкана, необходимо оценивать местоположение источника, его потенциальную мощность и частотность будущих эруптивных извержений. Выпадение образуемых вулканом обломков часто сопровождается образованием новых жерл. Кроме того, выпадение летящих вулканических обломков обычно происходит, когда лавовые потоки или пирокластические потоки попадают в водоемы, образуя вторичные (безкорневые) жерла. Выпадение летящих вулканических обломков может нарушать нормальную эксплуатацию атомной электростанции и приводить к повреждению конструкций станции. Эти опасные вулканические явления, как правило, следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения, хотя в некоторых случаях их воздействие может быть компенсировано посредством соответствующих проектных решений и защитных мер.

Детерминированная оценка

6.39. При применении детерминированного подхода следует определять пороговые значения максимального расстояния разлета и максимального размера образуемых вулканом обломков с использованием информации о максимальном расстоянии разлета и максимальном размере летящих вулканических обломков, зафиксированных во время предыдущих эксплозивных извержений аналогичных вулканов. Модели переноса летящих вулканических обломков могут также использоваться для определения значения расстояния скрининговой оценки в зависимости от скорости на выходе, плотности фракций, угла выхода и параметров ветрового поля. При анализе следует учитывать влияние топографических барьеров между атомной электростанцией и жерлом вулкана и возможность появления вулканических обломков из вторичных жерл. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.40. В рамках вероятностного подхода следует проводить численное симуляционное моделирование траекторий пролета образуемых вулканом летящих обломков на территории площадки. В таком анализе следует применять стохастический анализ траекторий для каждого потенциально активного вулкана с учетом изменения эксплозивного давления, плотности фракций, угла выхода и связанных с этим параметров. Такие модели позволяют получить частотное распределение накопления фракций, обычно представленное в виде кривой опасности. Неопределенность в

результатирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных интервалов следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.41. Как указано в таблице 1, последствия воздействия образуемых вулканом обломков следует в принципе признавать критерием исключения площадки из рассмотрения. Вместе с тем в некоторых случаях их воздействие может быть компенсировано посредством планировки площадки и установки, проектных, эксплуатационных и защитных мер на площадке. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки при разработке проектной основы и вынесении решений о пригодности площадки в связи с воздействием образуемых вулканом обломков следует учитывать ряд дополнительных факторов. В анализе могут сочетаться вероятностный и детерминированный подходы. Результаты такого комплексного анализа могут быть выражены, например, в виде вероятности потенциального воздействия за пределами установленного расстояния для скрининговой оценки. При оценке опасности открытия новых жерл следует рассматривать потенциал возникновения образуемых вулканом обломков, включая воздействие, связанное с выпадением тефры. Поскольку фрагменты вулканических обломков, как правило, горячие, следует учитывать их потенциал инициировать пожар на атомной электростанции или около нее. Следует обеспечивать, чтобы результаты проводимого анализа согласовывались с результатами анализа аналогичных внешних опасностей, таких как летящие предметы, образующиеся в результате антропогенных событий, или экстремальные метеорологические явления (см. [2, 5]).

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ГАЗЫ

6.42. Вулканические газы могут выделяться в очень больших количествах в случае эксплозивных вулканических извержений. Они могут высвободиться из вулканических жерл на некоторых вулканах даже в периоды неэруптивной активности, а также могут диффундировать через почву и вдоль систем разломов на вулканах и вблизи них. Значительным источником вулканических газов являются также обширные лавовые потоки. Негативное воздействие вулканических газов включает удушье, токсичность и коррозию, часто связанные с конденсацией кислот из

вулканических газов, сухим осаждением и большой кислотной нагрузкой. Воздействие вулканических газов на механические системы и персонал следует компенсировать посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер, а также следует учитывать это воздействие при разработке проектной основы.

6.43. Оценка опасности вулканических газов основывается на точной оценке потенциального потока таких газов в вулканических системах и на точности метеорологических и топографических данных, используемых для моделирования рассеивания, потока и концентрации газов в атмосфере.

Детерминированная оценка

6.44. При применении детерминированного подхода следует определять расстояния смещения между потенциальными источниками вулканического газа и площадкой путем использования информации, собранной для аналогичных вулканов, или результатов измерений концентрации газа в районе потенциально активного вулкана. Также при допущении дегазации из потенциально активного вулкана детерминированный подход может быть использован для оценки воздействия этой дегазации с применением модели атмосферной дисперсии, в которой принято консервативное значение массового потока вулканических газов. Такое моделирование позволяет получить некоторое представление об экстремальных концентрациях газа и кислотной нагрузке, которые могут возникнуть на площадке. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.45. При применении вероятностного подхода следует учитывать ожидаемую вариацию массового потока из вулкана, включая возможность импульсов дегазации на являющихся в остальном спокойными вулканах, а также изменчивость метеорологических условий в месте расположения площадки. Эти распределения вероятностей могут быть использованы в качестве исходных данных для модели дисперсии газа, используемой для оценки кислотной нагрузки и связанных с ней факторов. Неопределенность в результирующих кривых опасностей следует выражать доверительными границами, и основу для выбора сообщаемых доверительных интервалов следует документировать.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.46. Как указано в таблице 1, последствия воздействия вулканических газов не признаются критерием исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия могут быть смягчены посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки при разработке проектной основы и вынесении решений о пригодности площадки в связи с воздействием вулканических газов следует учитывать ряд дополнительных факторов. Результаты такого анализа, как правило, выражаются посредством ожидаемой атмосферной концентрации вулканических газов и ожидаемых сухих отложений в районе расположения площадки. При проведении этого анализа следует рассматривать опасность прямой дегазации из вулканических жерл и эруптивных шлейфов (плюмов), а также косвенной пассивной дегазации продуктов извержения через грунт, гидротермальную систему и кратерные озера. При проведении анализа следует также оценивать потенциал воздействия на площадку катастрофической дегазации насыщенных газами (например, CO_2 , CH_4) водных объектов (например, кратерных или тектонических озер) или гидротермальных систем.

ЦУНАМИ И СЕЙШИ

6.47. Во время извержения огромные массы пород могут внезапно попадать в большие водоемы. Кроме того, склоны вулканов могут становиться неустойчивыми и обрушаться без предвестников или проявления эруптивной активности. Подводные вулканические извержения могут также вытеснять огромные объемы воды как в результате обрушения склона, так и вследствие выброса вулканических газов, и их следует учитывать при проведении оценки свойственных данной площадке опасностей. В случае прибрежных площадок или площадок, расположенных вблизи больших водоемов, таких как озера и водохранилища, при оценке площадки, как правило, следует учитывать опасность возникновения цунами и сейшей (см. [5]). Вместе с тем для полной оценки вероятности и характеристик источников вулканогенных цунами необходимы специальные знания. Последствия цунами и сейшей, вызванных вулканическим воздействием, такие же, как и в случае цунами и сейшей, возникающих в результате сейсмических явлений. Затопления в результате цунами и сейшей могут

привести к нарушению нормальной эксплуатации и повреждению атомных электростанций. Поэтому опасности цунами и сейшей следует учитывать как при оценке площадки, так и при проектировании.

6.48. В настоящее время опасность цунами и сейшей оценивается с помощью детерминированных численных моделей, учитывающих местоположение потенциальных источников, объем и массовый расход, источник и характеристики смещения воды и результирующее распространение волн на основе данных батиметрии для конкретного места [5]. В случае площадок, находящихся в районах, потенциально подверженных воздействию цунами или сейшей, порождаемых вулканическими явлениями, в рамках анализа потенциального распределения источников цунами следует учитывать потенциал попадания в водоемы больших объемов породы, образовавшейся в результате вулканических извержений или неустойчивости вулканических склонов.

АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

6.49. Эксплозивные вулканические извержения могут порождать атмосферные явления, имеющие потенциально опасные характеристики. Избыточные давления от воздушных ударных волн могут часто распространяться на километры за пределы дистанции выброса вулканического материала. Извержения, продуцирующие тefровые колонны и шлейфы (плюмы), обычно ассоциируются с частыми молниями и иногда — с сильными нисходящими порывами ветра. Такие атмосферные явления следует учитывать при разработке проектных основ для атомной электростанции.

6.50. Поскольку эксплозивные вулканические извержения могут приводить к редким атмосферным явлениям, как описано в [5], при оценке опасности следует рассматривать возможность использования детерминированного подхода при моделировании максимальной опасности для каждого атмосферного явления, ассоциирующегося с потенциальным вулканическим извержением.

6.51. Вулканы могут считаться стационарными источниками взрывов при рассмотрении воздушных ударов в оценке опасностей [2]. Анализ опасностей, описанный в [2] для стационарных источников взрывов, в целом применим к анализу воздушных ударов при эксплозивных вулканических извержениях. При проведении анализа воздушных ударов

(ударов воздушной волны) следует сосредоточиваться на определении потенциального максимального взрыва для данного вулканического источника с использованием упрощенного соотношения параметров затухания удара и расстояния до источника.

6.52. Вулканические молнии имеют те же опасные характеристики, что и молнии, образующиеся в случае других метеорологических явлений, однако при этом являются частым явлением, связанным с тифровыми колоннами, образующимися в результате эксплозивного вулканического извержения. Вероятность наземных ударов высока и может превышать скорость удара для экстремальных метеорологических условий [5]. При проведении детерминированной оценки опасностей, связанных с ударами вулканических молний, следует рассматривать возможность применения критериев скрининговой оценки при оценке опасности редких атмосферных явлений [5] с учетом того, что существует потенциал возникновения большого количества ударов молнии от колонны в землю во время эксплозивного извержения.

ДЕФОРМАЦИЯ ГРУНТА

6.53. Деформация грунта обычно происходит до, во время и после вулканической активности. Опасности, связанные с деформацией грунта, принимают различные формы. Что касается деформации грунта на существующем потенциально активном вулкане, то деформация грунта, ассоциирующаяся с интрузией магмы, может иметь косвенные последствия, такие как повышение потенциала возникновения оползней, потоков обломочного материала или связанных с ними явлений и потоков вулканических газов. Деформация грунта также сопровождается открытием новых вулканических жерл. Величина деформации грунта значительно варьируется: от миллиметровых вертикальных и горизонтальных смещений на больших расстояниях от вулкана (например, >10 км) до метровых смещений вблизи некоторых вулканических центров (например, открытие нового жерла или «беспокойной» кальдеры). Таким образом, наиболее значительная потенциальная деформация в месте расположения площадки связана с открытием новых жерл. Поэтому деформация вулкана, ассоциирующаяся с удаленными потенциально активными вулканами, может находиться в пределах параметров проектной основы атомной электростанции. Вместе с тем деформация вблизи жерла в районе расположения площадки (т. е. в радиусе около 5 км от площадки) может

превышать большинство значений проектной основы, и, следовательно, потенциал возникновения большой вулканической деформации следует признавать критерием исключения данной площадки из рассмотрения.

6.54. Потенциальную величину деформации грунта следует оценивать с точки зрения смещения, и результаты этой оценки следует переносить на топографические карты или вводить в цифровые модели рельефа для оценки потенциала возникновения вторичных воздействий, таких как оползни.

Детерминированная оценка

6.55. При проведении детерминированной оценки следует определять пороговое значение, отражающее максимальную потенциальную величину деформации грунта на площадке. Это пороговое значение может быть оценено с использованием информации, полученной применительно к аналогичным вулканам, где деформация прямо наблюдалась, а также моделей деформации грунта, которые учитывают движение и давление магматических тел, имеющих различную геометрию и обладающих различными механическими свойствами породы. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.56. При проведении вероятностной оценки потенциальной деформации грунта можно просто связывать величину деформации грунта, оцененную с помощью моделей, с вероятностью таких событий и с диапазоном потенциальных геометрий интрузии. Как и при применении детерминированных подходов, в моделях деформации грунта следует учитывать движение и давление магматических тел, имеющих различную геометрию и обладающих различными механическими свойствами породы. Точность вероятностного анализа может быть повышена посредством использования информации, полученной применительно к аналогичным вулканам, где наблюдалась деформация грунта.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.57. Как указано в таблице 1, последствия деформации грунта следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия не могут быть смягчены посредством соответствующих проектных решений и эксплуатационных мер, если такие последствия

возникают в районе расположения площадки или если они оказывают прямое воздействие на площадку. В случае проведения как детерминированной, так и вероятностной оценки следует обеспечивать, чтобы результаты этого анализа включали оценку потенциала смещения грунта на территории площадки в результате вулканической активности, включая открытие новых жерл. Наиболее важным аспектом анализа деформации грунта, однако, является соединение этого анализа с анализом потенциала возникновения других вулканических явлений. В частности, следует оценивать потенциал деформации грунта в областях расположения источников оползней и вулканических обломочных лавин, поскольку деформация грунта в этих зонах может в значительной степени изменять потенциальный объем таких потоков (т. е. оползней и обломочных лавин) и, следовательно, их потенциал попадания на площадку атомной электростанции. Вулканическая активность или подповерхностные интрузии магмы могут изменять структуру потока подземных вод или вызывать колебания глубины водного зеркала. Потенциальные опасности, связанные с такими изменениями, также следует учитывать при оценке опасности наводнений [5].

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ОПАСНОСТИ

6.58. Вулканические землетрясения и связанные с ними опасности обычно возникают в результате изменений напряжений и деформаций, связанных с подъемом магмы к поверхности. Характеристики вулканосейсмических событий могут существенно отличаться от характеристик тектонических землетрясений. Вулканические землетрясения могут быть достаточно сильными или достаточно многочисленными (от сотен до тысяч землетрясений в сутки), чтобы в совокупности представлять потенциальную опасность. Таким образом, следует рассматривать необходимость проведения специальной оценки вулканосейсмических опасностей и в соответствующих случаях проводить ее с использованием методов, аналогичных методам, изложенным в [4].

Детерминированная оценка

6.59. В соответствии с подходом к оценке опасности для тектонических землетрясений (т. е. сейсмических землетрясений) при применении детерминированного метода оценки вулканосейсмического движения грунта следует определять сочетание магнитуды вулканосейсмического события, глубины фокуса и расстояния от площадки, которое обуславливает

максимальное движение грунта на площадке, с учетом локальных грунтовых условий на территории площадки. (Может потребоваться подтверждение, что вулканосейсмогенная структура источника не может интерпретироваться как потенциально активный разлом, который может вызвать смещения на поверхности; см. раздел 8 в [4]). Применительно к вулканотектоническим землетрясениям следует определять подходящие соотношения для альтернативной параметризации движения грунта по таким характеристикам, как пиковое ускорение грунта, продолжительность тряски или спектральный состав. (Конкретные характеристики движения грунта при вулканотектонических землетрясениях могут отличаться от рассмотренных в [4], но должны применяться те же принципы.) Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.60. При проведении вероятностной оценки вулканосейсмической опасности на площадке следует придерживаться принципов, аналогичных принципам, изложенным в [4]. Следует учитывать неопределенности параметров, а также альтернативные интерпретации. При применении вероятностного метода следует предусматривать:

- a) построение и параметризацию модели вулканосейсмического источника, включая неопределенность в местоположении источников;
- b) оценку распределений магнитуды–частоты событий для всех таких источников вместе с соответствующими неопределенностями;
- c) оценку затухания сейсмического движения грунта для региона расположения площадки и его стохастической изменчивости.

Посредством этих операций результаты вероятностного расчета опасности движения грунта следует выражать в виде годовой частоты превышения различных уровней соответствующих параметров движения грунта (например, пикового ускорения грунта, соответствующего диапазона реакции, спектрального ускорения) применительно как к горизонтальным, так и к вертикальным движениям.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.61. Как указано в таблице 1, последствия вулканических землетрясений не признаются критерием исключения площадки из рассмотрения, поскольку эти последствия могут быть смягчены посредством соответствующих

проектных решений и эксплуатационных мер. Во многих случаях площадка, располагающаяся вблизи потенциально активного вулкана, также находится в регионе со значительной сейсмической опасностью, обусловленной наличием тектонических разломов и зон разломов, и может быть продемонстрировано, что вулканосейсмические опасности на данной площадке значительно меньше опасностей, ассоциирующихся с другими источниками сейсмической активности. Возникновение вулканической активности может изменять региональные модели сейсмичности. Например, вулканическая активность может приводить к повышению давления поровых флюидов вдоль тектонических разломов в регионе. В тех случаях, когда такой анализ не обеспечивает четкого запаса разницы, следует проводить детерминированную или вероятностную оценку вулканосейсмических опасностей.

6.62. Вулканосейсмические события могут приводить к повышению потенциала разрушения склонов и могут изменять действующие на конструкции нагрузки (например, в тандеме с нагрузкой от выпадения тefры). Такие последствия следует рассматривать и оценивать на предмет их потенциального влияния на проектные основы и оценку площадки.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АНОМАЛИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

6.63. Гидротермальные системы могут генерировать паровые взрывы, выбрасывающие фрагменты породы на расстояние в несколько километров, и способны создавать воронки диаметром в сотни метров и приводить к образованию новых жерл. Гидротермальные системы могут также изменять породу, превращая ее в глину и другие минералы, что приводит к общей неустойчивости грунта, который может становиться сильно подверженным оползням. Эти факторы ставят под сомнение возможность определения проектной основы для атомной электростанции, расположенной в месте нахождения активной гидротермальной системы. Таким образом, возникновение гидротермальной системы и потенциал развития такой системы следует признавать критерием исключения площадки из рассмотрения, хотя в некоторых случаях их воздействие может быть компенсировано посредством защитных мер на площадке. Активные гидротермальные системы и возмущения подземных вод в результате вулканических событий в потенциально активных вулканических источниках могут создавать условия, приводящие к лахарам, просадке грунта и неустойчивости склонов.

6.64. К факторам, которые следует учитывать при оценке развития и возможного воздействия гидротермальных систем, относятся:

- a) латеральная протяженность и характер активных гидротермальных систем, ассоциирующихся с потенциально активными вулканами;
- b) схемы циркуляции подземных вод, которые могут приводить к образованию гидротермальных систем;
- c) распределение таких образований, как разломы, которые могут влиять на расположение и развитие гидротермальных систем.

Детерминированная оценка

6.65. При проведении детерминированной оценки следует определять пороговое значение расстояния от существующей гидротермальной системы, за пределы которого гидротермальная система не будет распространяться и вероятность развития новой гидротермальной системы будет пренебрежительно мала. В процессе определения этого порогового значения следует учитывать латеральную протяженность и характер гидротермальных систем каждого потенциально активного вулкана, латеральную протяженность гидротермальных систем аналогичных вулканов и гидрогеологию площадки и прилегающей территории. Следует должным образом учитывать неопределенности различных параметров.

Вероятностная оценка

6.66. При проведении вероятностной оценки следует рассматривать численные модели развития гидротермальных систем в условиях конкретной геологической обстановки с учетом изменений вулканической активности в районе каждого потенциально активного вулкана и в совокупности с открытием новых жерл. Точность вероятностных моделей может быть повышена посредством использования данных по аналогичным вулканам. Результатом вероятностной модели является вероятность развития гидротермальной системы на площадке с учетом ряда вводных параметров, связанных с термическим состоянием вулкана и свойствами, определяющими расход и перенос в гидрологической системе.

Факторы, учитываемые при выборе площадки, оценке площадки и разработке проектной основы

6.67. Как указано в таблице 1, последствия развития вулканических гидротермальных систем следует в принципе признавать критерием исключения площадки из рассмотрения. Вместе с тем в некоторых случаях, поскольку их воздействие может быть компенсировано посредством соответствующей планировки площадки и установки или проектных решений, эксплуатационных мер и защитных мер на площадке, следует разрабатывать соответствующую проектную основу. В настоящее время трудно определить вероятность возникновения паровых взрывов в конкретных местах большинства гидротермальных систем. Опасности, связанные с конкретными явлениями, такими как развитие фумарол или открытие новых жерл во время паровых взрывов, менее важны для эксплицитной оценки, чем развитие и латеральная протяженность самой гидротермальной системы. В рамках анализа этих явлений следует оценивать влияние аномалий подземных вод на потенциал возникновения лахаров, потоков обломочного материала, просадок грунта и неустойчивости склонов.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

6.68. Для принятия решений по пригодности площадки и проектной основе для атомной электростанции следует разрабатывать комплексную модель свойственных данной площадке вулканических опасностей. При принятии этих решений следует учитывать потенциал будущего вулканизма и оценку его потенциальных последствий с точки зрения потенциального воздействия на безопасность атомной электростанции, включая готовность электростанции к эксплуатации.

6.69. Комплексная модель свойственных данной площадке вулканических опасностей охватывает большое количество сложных взаимодействующих явлений. Для разработки таких моделей требуется помощь экспертов-вулканологов, предпочтительно в рамках формального процесса, предусматривающего учет всех экспертных оценок в отношении вулканических опасностей на территории данной площадки. Кроме того, следует проводить внешнее экспертное рассмотрение технической основы и применения модели опасностей с целью повышения уверенности в том, что при оценке был учтен соответствующий ряд моделей и данных.

6.70. Вулканические явления могут приводить к многочисленным опасным явлениям (например, тефровым нагрузкам и сейсмическим нагрузкам). Вулканическая опасность может быть причиной других опасностей в регионе (например, вызванное вулканом землетрясение может повлечь за собой оползень, способный оказать воздействие на плотины или русла местных рек). В совокупности эти опасности могут усугублять риск для атомной электростанции, даже если индивидуальный риск, связанный с каждой опасностью, может быть относительно небольшим. Поэтому в комплексной модели вулканических опасностей следует учитывать совокупное воздействие вулканических явлений.

6.71. Невулканические события, такие как региональные землетрясения или тропические штормы, могут инициировать возникновение опасных явлений на вулкане. В комплексной модели вулканических опасностей следует учитывать вероятность таких опасностей, которые связаны с неэруптивными исходными событиями. Кроме того, по сравнению со многими внешними опасностями вулканическая активность может сохраняться в течение более длительных периодов времени и может воздействовать на большие площади вокруг атомной электростанции. Например, движение потоков обломочного материала может продолжаться в регионе в течение многих лет после взрывных вулканических извержений. Такие потоки обломочного материала могут не наносить прямых повреждений атомной электростанции, но они могут сделать невозможной нормальную эксплуатацию электростанции вследствие масштабного или разрушительного воздействия на население и инфраструктуру окружающего региона.

7. ЯДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ, НЕ ОТНОСЯЩИЕСЯ К АТОМНЫМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМ

7.1. Данный раздел содержит руководящие материалы по оценке вулканических опасностей применительно к широкому спектру ядерных установок, не относящихся к атомным электростанциям. Настоящее Руководство по безопасности охватывает широкий круг ядерных установок, как определено в [8], к которым относятся: наземные стационарные атомные электростанции, исследовательские реакторы, заводы по изготовлению ядерного топлива, заводы по обогащению, заводы по переработке и хранилищу отработавшего топлива.

7.2. Для целей оценки вулканической опасности эти установки следует дифференцировать с учетом их сложности, потенциальных радиологических опасностей, а также опасностей, обусловленных наличием других материалов. Оценку вулканической опасности следует проводить в соответствии с этой дифференциацией.

7.3. До категоризации установки с целью применения дифференцированного подхода следует проводить консервативную скрининговую оценку, в которой принимается допущение, что в результате аварии, инициированной вулканическим событием, произойдет выброс всего инвентарного количества радиоактивного материала установки. При условии, что потенциальным результатом такого радиоактивного выброса будет отсутствие неприемлемых последствий для работников или населения (т. е. при условии, что дозы облучения работников или населения в результате выброса данного инвентарного количества радиоактивного материала будут ниже разрешенных пределов доз, установленных регулирующим органом), или для окружающей среды, и при условии, что регулирующий орган не предъявляет к такой установке никаких других конкретных требований, установка может быть исключена из дальнейшей оценки на предмет вулканических опасностей.

7.4. Если результаты консервативной скрининговой оценки показывают, что потенциальные последствия таких выбросов будут «значительными», следует проводить оценку вулканических опасностей, а также оценку безопасности ядерной установки в соответствии с действиями, указанными в пунктах 7.5–7.14.

7.5. Вероятность того, что вулканическое явление приведет к радиологическим последствиям, зависит от характеристик ядерной установки (например, ее назначения, планировки, конструкции, строительства и эксплуатации), а также от характера самого вулканического явления. Следует обеспечивать, чтобы такие характеристики отражали:

- a) количество, тип и состояние радиоактивных материалов на площадке (например, твердая или жидкая форма, используемый в процессе или только хранящийся);
- b) опасность, присущую физическим процессам (т. е. критичность) и химическим процессам, которые осуществляются на ядерной установке, если это применимо;
- c) тепловую мощность ядерной установки, если это применимо;
- d) конфигурацию установки для деятельности различного вида;

- e) концентрацию радиоактивных источников в установке (например, в случае исследовательских реакторов большая часть радиоактивного инвентарного количества будет находиться в активной зоне реактора и бассейне для хранения топлива, в то время как в установках по переработке и хранению топлива это количество может быть распределено по всей установке);
- f) изменяющийся характер конфигурации и планировки оборудования, предназначенного для экспериментов (такие виды деятельности характеризуются присущей им непредсказуемостью);
- g) необходимость применения активных систем безопасности и/или действий оператора для предотвращения аварий и для смягчения последствий аварий;
- h) характеристики инженерно-технических средств обеспечения безопасности, предназначенных для предотвращения аварий и смягчения последствий аварий (например, систем защитной оболочки и локализации);
- i) характеристики процессов или инженерно-технических средств, которые могут приводить к пороговому эффекту⁷ в случае аварии;
- j) характеристики площадки, имеющие отношение к последствиям рассеивания радиоактивного материала в атмосфере и гидросфере (например, размер, демографические характеристики региона);
- k) потенциал возникновения загрязнения на площадке и за пределами площадки в результате вулканического события.

7.6. Оценку вулканических опасностей на площадке следует проводить в соответствии с процедурами, описанными в настоящем Руководстве по безопасности.

7.7. Большинство ядерных установок размещается на поверхностных площадках, однако некоторые ядерные установки могут строиться под землей. Большая часть опасностей, связанных с поверхностными вулканическими процессами, такими как лавовые потоки, имеют ограниченный потенциал воздействия на безопасность подземных установок. Связанные с поверхностными потоками явления, источником которых являются вулканы, могут оказывать воздействие на системы

⁷ Пороговый эффект применительно к ядерной установке — это сильно отличающийся от нормального режим поведения системы, к которому приводит резкий переход от одного состояния системы к другому после небольшого отклонения одного из параметров системы и, таким образом, резкое значительное изменение условий в системе в ответ на небольшое изменение входных воздействующих факторов.

вентиляции и циркуляции воды, связанные с такими подземными установками. Прямое проникновение магмы или другие магматические процессы, сопровождающие открытие новых жерл, включая выброс вулканических газов, деформацию грунта, возникновение вулканических землетрясений и циркуляцию геотермальных флюидов, представляют собой основную проблему при оценке вулканических опасностей для подземных установок. При проведении анализа вулканических опасностей применительно к подземным установкам может потребоваться рассмотрение возможности переноса и выброса радиоактивного материала в биосферу в результате таких вулканических процессов, как выпадение тefры и лавовые потоки, в случае выявления потенциала прохождения эруптивных каналов через территорию установки.

7.8. В зависимости от критериев, используемых регулирующим органом, следует учитывать некоторые или все упомянутые факторы. Например, представляющими интерес условиями или показателями могут быть повреждение топлива, радиоактивный выброс или облучение.

7.9. Следует обеспечивать, чтобы процесс дифференциации основывался на:

- a) имеющейся документации по техническому обоснованию безопасности (анализе безопасности) установки, который следует считать основным источником информации при его наличии;
- b) результатах комплексной оценки вулканических опасностей (этапы 1–4), если она была проведена;
- c) характеристиках установки, указанных в пункте 7.5.

7.10. Дифференциация установок позволяет проводить их категоризацию. Эта дифференциация может быть выполнена на стадии проектирования или на более позднем этапе. После выполнения такой дифференциации следует проводить анализ и верификацию допущений, на которых она была основана, а также последующей категоризации. Следует обеспечивать, чтобы в целом критерии категоризации основывались на радиологических последствиях выброса радиоактивного материала, содержащегося в установке, которые варьируются от очень незначительных радиологических последствий до потенциально серьезных радиологических последствий. Также категоризация может варьироваться от радиологических последствий в пределах самой установки до радиологических последствий,

ограниченных пределами площадки, на которой размещается установка, и до радиологических последствий для населения и окружающей среды за пределами площадки.

7.11. В результате указанного процесса дифференциации установок могут быть определены три или большее число категорий установок с учетом национальной практики и соответствующих критериев, как указано в пункте 7.10. Например, могут быть установлены категории, указанные ниже:

- a) объекты низшей категории опасности, включающей те ядерные установки, к которым следует, как минимум, применять национальные строительные нормы и правила, предназначенные для обычных объектов (например, жизненно необходимых объектов, таких как больницы) или для опасных объектов (например, предприятий нефтехимической или химической промышленности);
- b) объекты высшей категории опасности, включающей установки, к которым следует применять нормы и своды положений, предназначенные для атомных электростанций;
- c) объекты по меньшей мере еще одной нередко устанавливаемой промежуточной (средней) категории опасности, к которым следует, как минимум, применять своды положений, предназначенные для опасных объектов.

7.12. Оценку вулканических опасностей следует проводить, руководствуясь следующим:

- a) вулканические опасности для установок низшей категории опасности могут оцениваться на основе национальных карт вулканических опасностей или аналогичных оценок опасностей для конкретных вулканов;
- b) для установок, относящихся к высшей категории опасности, следует использовать методологии оценки вулканических опасностей, описанные в предыдущих разделах настоящего Руководства по безопасности (т. е. рекомендации, которые применяются к атомным электростанциям);
- c) для установок, относящихся к промежуточной (средней) категории опасности, оценка вулканических опасностей, как правило, выполняется с использованием методов, аналогичных методам, описанным в настоящем Руководстве по безопасности, однако в детерминированном анализе могут допускаться более высокие значения вероятности вулканических событий или более высокие

пороговые значения активности при выборе и оценке площадки размещения и проектировании таких установок. В случае таких установок, отнесенных к объектам промежуточной (средней) категории опасности, целесообразным может быть применение упрощенных методов в ситуациях, когда база данных и методы, рекомендованные в настоящем Руководстве по безопасности, оказываются чрезмерно сложными, времязатратными и трудоемкими применительно к рассматриваемой ядерной установке. Такой анализ может основываться на национальных или аналогичных региональных базах данных по вулканическим извержениям (см. приложение П), и для оценки потенциала воздействия конкретных вулканических явлений на данную площадку могут применяться упрощенные допущения.

7.13. Если иное не требуется национальными регулирующими положениями, то оценку вулканических опасностей для ядерных установок, относящихся к низшей категории опасности, следует проводить на основе имеющихся карт вулканических опасностей, применимых к данной площадке, с учетом соответствующих факторов, касающихся интенсивности и характера вулканизма, а также топографического рельефа региона расположения площадки. В случае отсутствия таких карт вулканических опасностей следует составлять и применять такие карты опасностей для данной площадки в соответствии с национальными нормами оценки вулканических опасностей.

7.14. Следует обеспечивать, чтобы применение рекомендаций, касающихся мониторинга потенциально активных вулканов в географическом регионе, представляющем интерес (см. пункты 3.9 и 4.36), соответствовало категории установки, как определено в пункте 7.11.

8. МОНИТОРИНГ И ПОДГОТОВКА К РЕАГИРОВАНИЮ

8.1. Как указывается в пункте 5.1 публикации [1], характеристики природных и техногенных опасностей, а также демографические, метеорологические и гидрологические условия, имеющие отношение к ядерной установке, должны контролироваться на протяжении всего жизненного цикла ядерной установки. Поскольку потенциально

активные вулканы являются источником природных опасностей, в случае строительства ядерной установки, ассоциирующейся с потенциально активным вулканом, который способен порождать опасные для этой установки явления, учитываемые посредством принятия проектных решений или защитных мер на площадке, следует осуществлять мониторинг этого вулкана на протяжении всего жизненного цикла ядерной установки. Таким образом, если на этапе определения пригодности площадки программа мониторинга вулкана не была разработана, такую программу следует разрабатывать до начала строительства установки, осуществлять и поддерживать в надлежащем состоянии на протяжении всего этапа эксплуатации.

8.2. Поскольку источники вулканических опасностей могут находиться на значительном расстоянии от границ территории установки, мониторинг следует проводить в сотрудничестве с соответствующими национальными и международными учреждениями, занимающимися наблюдением и мониторингом вулканов. Могут возникать ситуации, когда в данный период времени мониторинг потенциально активных вулканов не ведется или он является сравнительно низкоприоритетным направлением деятельности национальных и международных вулканических обсерваторий, на которые возложена задача мониторинга вулканов и смягчения последствий вулканических опасностей в масштабе страны. Поэтому всем заинтересованным сторонам (например, эксплуатирующим организациям, регулирующим органам и другим государственным организациям) следует сотрудничать с такими вулканическими обсерваториями в целях обеспечения надлежащего уровня мониторинга, соразмерного характеру потенциально активного вулкана и опасностям, создаваемым для ядерной установки. При отсутствии функционирующей вулканической обсерватории может возникнуть необходимость ее создания в рамках требуемой программы мониторинга.

8.3. Некоторые мероприятия по сбору данных, проводимые на этапе характеристики площадки (раздел 4), могут включать оценку текущего состояния активности вулканов, которые потенциально могут проявлять активность. Поскольку на этом этапе для проведения таких оценочных работ могут привлекаться специалисты из вулканических обсерваторий и могут быть установлены приборы, необходимые для мониторинга потенциально активных вулканов, следует разрабатывать и вводить в действие программу мониторинга, в которой в максимально возможной степени используются эти сотрудники и уже созданная инфраструктура. Привлечение сотрудников

вулканических обсерваторий на ранних этапах характеристики площадки будет способствовать разработке надлежащей программы мониторинга потенциально активных вулканов.

8.4. В плане аварийных мероприятий ядерной установки следует предусматривать порядок использования при реагировании на чрезвычайные ситуации результатов или предупреждений об опасности, полученных в рамках программы мониторинга вулканов. Следует разрабатывать детальную процедуру реагирования на изменения в потенциале возникновения вулканических опасностей, выявляемые с помощью системы мониторинга. Перед началом извержения у большинства вулканических систем отмечается систематический рост индикаторов волнения, что позволяет разрабатывать и использовать дифференцированные уровни предупреждения об опасности. Большинство вулканических обсерваторий во всем мире устанавливают уровни предупреждения об опасности на основе информации, поступающей от систем мониторинга. Уровни реагирования в плане действий в чрезвычайных ситуациях следует устанавливать на основе уровней предупреждения об опасности, определяемых вулканической обсерваторией. Разработку плана действий в чрезвычайных ситуациях следует координировать с соответствующими вулканическими обсерваториями для обеспечения надлежащего реагирования на информацию о предупреждении, которая поступает в периоды вулканической активности.

9. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

9.1. Для всех работ, связанных со сбором, обработкой и интерпретацией данных, полевыми и лабораторными исследованиями, численным моделированием и техническими оценками, которые входят в сферу применения настоящего Руководства по безопасности, следует разрабатывать и применять адекватную систему менеджмента, включающую программу обеспечения качества [9, 10]. Следует обеспечивать, чтобы на каждом этапе оценки опасностей оформлялась документация, подтверждающая результаты оценки.

9.2. Учитывая высокий уровень сложности оценки вулканических опасностей, следует предусматривать проведение группой независимых экспертов независимой экспертизы (экспертной оценки). Следует обеспечивать, чтобы эти независимые эксперты не участвовали в работе, связанной с другими аспектами оценки вулканических опасностей, и не были заинтересованы в результатах экспертизы. Уровень и тип независимой экспертизы может варьироваться в зависимости от характера вулканической опасности. Следует обеспечивать, чтобы независимая экспертиза охватывала все этапы оценки вулканических опасностей, включая процесс оценки вулканических опасностей, все технические элементы (такие как определение потенциальной активности вулкана, геологические и геофизические исследования, оценка интенсивности вулканической активности в прошлом), методы, используемые для оценки вулканических опасностей (например, численные модели), а также количественную оценку и документацию. В составе группы независимых экспертов следует предусматривать наличие специалистов, обладающих междисциплинарным опытом, необходимым для рассмотрения всех технических и связанных с процессом оценки аспектов.

9.3. Целью независимой экспертизы является обеспечение уверенности в том, что при проведении оценки вулканических опасностей был должным образом соблюден надлежащий процесс, что в ходе анализа были рассмотрены и оценены эпистемические неопределенности и что документация является полной и прослеживаемой.

9.4. При проведении независимой экспертизы могут применяться два метода: i) широкоохватная независимая экспертиза и ii) позднестадийная и повторная независимая экспертиза. Широкоохватная независимая экспертиза проводится в ходе оценочного исследования с широким участием заинтересованных сторон, что позволяет устранять с помощью независимых экспертов появляющиеся замечания в процессе проведения оценки вулканических опасностей и по мере возникновения технических проблем. Позднестадийная и повторная независимая экспертиза проводится в конце оценочного исследования. Проведение широкоохватной независимой экспертизы позволяет снизить вероятность выбраковки результатов оценочного исследования на более позднем этапе.

Дополнение

ОПИСАНИЕ ТИПОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

I.1. Ниже приводится краткое описание физических характеристик каждого вулканического явления и указывается порядок величины репрезентативных параметров, связанных с каждым явлением. Однако в комплексной оценке вулканических опасностей следует использовать количественные значения конкретных параметров для данной площадки. Дополнительная информация, касающаяся вулканологических терминов, которые используются в следующих ниже пунктах, приведена в разделе определений.

Выпадение тефры

I.2. Падение и отложение пирокластического материала, такого как пепел, пемза и шлаки, происходят после того, как эти фракции поднимаются в результате эксплозивного извержения на высоты от нескольких километров до десятков километров (обычно <40 км над уровнем моря). Этот материал переносится в атмосфере ветром. При вулканических извержениях образуются самые разные объемы тефры, но общая масса, выбрасываемая при эксплозивном извержении вулкана, обычно превышает 10^{11} кг (примерно 10^8 м³ тефры). При падении пирокласты обычно достигают постоянной скорости (так называемой конечной скорости), которая определяется размером, формой и плотностью падающих фракций, плотностью и вязкостью воздуха. Их распределение зависит от скорости и направления ветра, а также от характера эруптивной колонны. Толщина и масса на единицу площади отложенной тефры, как правило, уменьшаются по мере удаления от вулкана — каждая из этих характеристик примерно по экспоненциальному закону. Таким образом, выпадение тефры может происходить на расстоянии более 100 км от жерла, а масса на единицу площади может варьироваться от менее 10 кг/м² вдали от жерла до более 1000 кг/м² вблизи жерла. Во влажном состоянии эти нагрузки, создаваемые тефрой, могут возрастать более чем в два раза. Размер фракций тефры может варьироваться от микронов до дециметров, и средний размер фракций уменьшается по мере удаления от вулкана. Значительные выпадения тефры образуются в результате плинианских вулканических извержений. Вулканические извержения вулканианского и стромболианского типов также сопровождаются выпадением тефры. Выпадение тефры характерно

для вулканических извержений всех типов, но наиболее объемные выпадения обычно ассоциируются с кальдерообразующими извержениями и сложными вулканами.

Пирокластические потоки, волны и взрывы

I.3. Пирокластические потоки представляют собой высокотемпературные смеси фрагментов породы, вулканических газов и воздуха, которые с высокой скоростью стекают вниз по склонам. Эти потоки формируются в результате гравитационного обрушения эруптивных колонн, «переливания» через жерловые края под воздействием плотных эруптивных колонн или в результате лавинообразования фронтов купольных и вязких лавовых потоков. Скорости потоков достигают 10–100 м/с. Температура может быть близка к температуре исходной магмы (около 1000°C во многих случаях) вплоть до температуры окружающей среды, в зависимости от степени смешивания с воздухом. Быстрое движение пирокластического потока вниз по склону обусловлено в основном действием гравитационных сил. Высокая подвижность потока указывает на то, что внутреннее трение очень низкое. Пирокластические потоки могут иметь достаточный импульс для отклонения от линий водослива и преодоления препятствий топографического рельефа и могут быстро преодолевать расстояние в десятки километров от вулкана, в зависимости от объема извержения и мощности потока. Динамическое давление, возникающее в пирокластических потоках, может превышать 100 кПа, а толщина отдельных отложений потока может составлять от нескольких миллиметров до десятков метров. Эти потоки несут летящие обломки, способные нанести значительный ущерб некоторым сооружениям.

I.4. Пирокластические волны и взрывы представляют собой разбавленные газотвердые суспензии, которые текут по земной поверхности с высокой скоростью и в меньшей степени подвержены влиянию рельефа, чем пирокластические потоки. Оценочная плотность пирокластических волн колеблется от 1 кг/м³ до 6 кг/м³. Существует три типа пирокластических волн: i) базисная волна; ii) волна пеплового облака; iii) приземная волна. Базисная волна обычно образуется, когда вулкан первоначально начинает извергаться из основания эруптивной колонны при ее коллапсе. Обычно она не удаляется больше чем на 10 километров от своего источника. Приземная волна, как правило, образуется у основания пирокластического потока. Волна пеплового облака образуется, когда эруптивная колонна не поднимает материал вверх за счет конвекции и не коллапсирует. Такие отложения могут образовываться до, после и во время формирования пирокластических потоков. Базисные волны обычно содержат воду и/или пар и имеют

температуру на уровне или ниже точки кипения воды⁸. Базисные волны могут удаляться на расстояние до 10 км от жерла. Приземные волны возникают в результате многих процессов, которые формируют пирокластические потоки, и часто предшествуют пирокластическим потокам. Приземные волны обладают многими характеристиками пирокластических потоков, но они более разбавлены, имеют меньший объем и, в целом, оставляют более тонкие отложения. Базисные волны образуются в результате гидромагматических взрывов, при которых происходит взаимодействие между неглубоко залегающими подземными или поверхностными водами и магмой. Вулканический взрыв — это латерально направленная волна давления, ассоциирующаяся с пепловыми тучами. Пирокластические волны и взрывы создают различные опасности, включая завалы и удары фрагментами породы. Горячие пирокластические волны порождают ряд дополнительных опасностей, включая сжигающее действие, токсическое отравление и удушающее действие. Пирокластические потоки, волны и взрывы способны перемещаться по водоемам на десятки километров. В некоторых случаях попадание плотных пирокластических потоков в водную массу может породить цунами.

I.5. Пирокластические потоки, волны и взрывы чаще всего ассоциируются с эксплозивной вулканической активностью, такой как извержения вулканианского и плинианского типов в кальдерах и структуре сложных вулканов. Вместе с тем очагами такой активности могут быть все типы вулканов, включая моногенные туфовые кольца и шлаковые конусы.

Лавовые потоки и купола

I.6. Потоки лавы движутся под действием силы тяжести по линиям водослива топографического рельефа. Лавы представляют собой вязкие, плотные (примерно 2000 кг/м^3) жидкости, обычно с полутвердой коркой на поверхности, и в экстремальных случаях текут со скоростью от менее 1 м/с до примерно 20 м/с. Морфология и скорость потоков лавы зависят от вязкости, скорости извержения, температуры, состава, геометрии жерла и топографического рельефа. Мощные лавовые потоки могут затапливать и изменять топографический рельеф. Лавовые потоки могут удаляться от жерла на десятки километров, а в необычных случаях — до нескольких сотен километров, и иметь толщину от менее одного метра до более 100 м. Температура лавы может варьироваться от 1200°C до примерно 800°C или ниже. Лава может извергаться из основного вулканического канала или

⁸ <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/hazards/primer/images/volc-images/basesurge.jpg>

из нескольких жерл, расположенных по флангам вулканов, на расстоянии до десятков километров от места расположения главного жерла. Лавовые потоки обычно покрывают площади от 0,1 до 1000 км². Эффузивная активность одного жерла иногда может продолжаться в течение нескольких лет.

I.7. В зависимости от своей природы лавовый поток может создавать собственный топографический рельеф за счет вертикального расширения, позволяя лавовому потоку распространяться на новые территории, изначально не связанные с источником лавы. Протекание низковязкой лавы по местности с густой растительностью с высокой вероятностью приводит к воспламенению растительности и взрыву заземленных газов CO₂ и CH₄. При попадании лавовых потоков в водоемы или море возможны проявления взрывной активности и дегазации. Извержение лавы под слоем снега или льда может вызвать масштабные наводнения, как это происходит в Исландии (йокульхлаупы).

I.8. Экструзия вязких лав может длиться от нескольких дней до нескольких лет или десятилетий, что приводит к образованию лавовых куполов, ассоциирующихся с дегазацией (SO₂, CO₂, H₂O, HCl, HF), что может оказывать значительное воздействие на окружающую среду. Извержение вязкой лавы обычно приводит к образованию объемного пирокластического материала в результате гравитационного коллапса и взрывной дезинтеграции лавового купола или лавового потока. Этот материал залегает в основании и на вулкане, где может произойти его ремобилизация (с возникновением лахаров) через многие годы и десятилетия после прекращения извержения. Повторяющиеся, частые интрузии магмы, такие как магмы, питающие долгоживущие лавовые потоки, также способствуют развитию гидротермальных систем, которые могут быть активными в течение многих лет, десятилетий или даже столетий. Динамика гидротермальной системы будет отчасти определять процессы подъема магмы и тип эруптивной активности, а также будет способствовать, в свою очередь, возникновению неустойчивости склонов изменившихся частей вулканической постройки.

Обломочные лавины, оползни и разрушения склонов

I.9. Крутобокие вулканические постройки, такие как вулканические купола и сложные вулканы, могут стать неустойчивыми в результате изменения породы, вулканического извержения, деформации грунта и эрозии. Частичное или полное разрушение склонов может привести к

обломочным лавинам, которые представляют собой высокоскоростные потоки фрагментов породы размером от нескольких сантиметров до десятков метров в диаметре с заземленным воздухом. Отдельные блоки очень большого диаметра могут наносить значительный ущерб в результате высокого импульса движения. Таким образом, режим движения обломочных лавин аналогичен режиму движения пирокластического потока в том отношении, что оба явления представляют собой высокоскоростные флюидизированные потоки, ускоряющиеся вниз по склону под действием силы тяжести (со скоростью до 50–70 м/с). Объемы обломочных лавин сложных вулканов могут превышать 10 км^3 , а отложения этих лавин могут удаляться более чем на 100 км от вулкана. Иногда вулканические лавины бывают горячими (до 100°C). Отслоение и обрушение неустойчивых склонов вулканической постройки могут приводить к оползням и другим типам внезапного разрушения склонов, вызванного магматической интрузией, землетрясением или обильными дождевыми осадками. Обрушение постройки может инициировать гидротермальные взрывы или вызывать вулканические извержения, включая латеральные взрывы. Эти перемещения масс могут иметь объем, достаточный для перекрытия речных стоков. В некоторых случаях попадание обломочных лавин и оползней в водную массу может породить цунами.

I.10. Как отмечалось выше, обломочные лавины, оползни и разрушения склонов обычно возникают в условиях крутого рельефа. Вместе с тем отмечены случаи, когда на щитовых вулканах в океанических условиях возникали очень большие обломочные лавины ($100\text{--}1000 \text{ км}^3$), которые приводили к возникновению цунами. Такие явления могут также возникать и на вулканах, находившихся длительное время в спящем состоянии.

Потоки обломочного материала, лахары и наводнения

I.11. Вулканические потоки обломочного материала и лахары представляют собой смеси фрагментов вулканических пород диаметром от 10^{-6} м до 10^2 м, смешанные с различными пропорциями воды, а также других пород, почвы и растительности. Иногда вулканические потоки обломочного материала могут быть горячими (до 100°C). Они варьируются от потоков с множеством крупных валунов, каскадирующих вниз по крутым склонам, до грязевых потоков, которые распространяются на обширных площадях у основания вулкана, следуя по руслам рек. Потоки обломочного материала и лахары могут становиться бурными потоками, сильно насыщенными взвешенными частицами песка и глины. Эти потоки могут возникать на любом этапе вулканической активности, включая самые ранние стадии извержения.

Потоки обломочного материала могут возникать в регионе в течение десятилетий после мощных эксплозивных вулканических извержений. Скорости движения потока могут достигать 10–50 м/с при интенсивности выброса до 10^5 м³/с в случае йокульхлаупов. Большие потоки обломочного материала и лахары могут перемещаться на расстояния 150 км и более и иметь объемы свыше 10^7 м³ (до нескольких кубических километров в случае йокульхлаупов и потоков обломочного материала и лахаров, образовавшихся из обломочных лавин). Потоки обломочного материала могут преодолевать топографические барьеры, особенно вблизи основания постройки вулкана.

I.12. В связи с вулканической активностью могут образовываться наводнения. Они могут быть результатом сложных процессов. Например, наводнения могут возникать в результате катастрофического осушения кратерных озер, образования йокульхлаупов, представляющих собой наводнения, вызванные подледниковыми извержениями лавы, а также в результате разрушения временных плотин, образованных лавинами из вулканических обломков и связанными с ними отложениями массовых потоков, и попадания этих потоков в имеющиеся водоемы.

I.13. Потоки обломочного материала и связанные с ними явления характерны для сложных вулканов и могут возникать спустя много лет после прекращения вулканических извержений. Такие потоки гораздо реже встречаются в случае других типов вулканов, если не учитывать необычные обстоятельства. Например, известны примеры, когда после пирокластических извержений моногенных вулканов реки перекрывались рельефными препятствиями, что приводило к наводнениям. После эксплозивных извержений также часто происходит затопление близлежащих низменных территорий, если вулканический материал сокращает пропускную способность русла рек в этих районах.

Открытие новых жерл

I.14. Образование нового жерла происходит при подъеме и прохождении магмы через земную кору по новому пути, что приводит к извержению лавы в новом месте. Новые вулканы могут образовываться в местах, расположенных в десятках километров от мест предыдущих извержений. Новые жерла могут возникать вдоль трещинистых зон длиной до нескольких километров, но обычно эруптивная активность локализуется по мере продолжения извержения, что приводит к образованию пирокластических конусов, таких как шлаковые конусы, лавовые купола, эруптивные

трещины и подобные структуры. Вторичные жерла могут возникать, когда лавы или пирокластические потоки попадают в водоемы. Иногда их называют бескорневыми жерлами. Извержения из этих новых жерл могут длиться от нескольких часов до нескольких месяцев, или же извержения могут происходить спорадически в течение многих десятилетий со значительными перерывами в эруптивной активности. Новые жерла, если они ассоциируются с более крупными вулканическими структурами, такими как щитовые вулканы и кальдеры, часто образуются вдоль рифтовых зон или других основных структур вулкана. Новые жерла также образуются в вулканических полях, состоящих из десятков-сотен отдельных вулканов, которые не ассоциируются с более крупными вулканическими структурами. Эти жерла могут быть источником значительных пирокластических выпадений и объемных лавовых потоков. Возникновение невулканического явления, такого как так называемый грязевой вулкан, также можно считать явлением, аналогичным открытию нового жерла. Грязевые вулканы образуются при извержении суспензии частиц породы в водной или газовой среде (часто метане). Их радиус может превышать 100 м, а высота — 20 м. Они могут возникать в вулканических районах, однако чаще встречаются в невулканических районах с подстилающими глинистыми или песчаными коренными породами. Грязевые вулканы образуются при появлении избыточного давления подземных флюидов, как правило, ассоциирующегося с небольшим повышением температуры, которая может приводить к образованию трещиноватости и флюидизации породы. Газы, которые могут содержать значительное количество метана, могут воспламениться при контакте с воздухом. Извержения грязевых вулканов продолжаются в течение многих лет и приводят к длительным и объемным грязевым потокам. Флюидизация почвы и грязевые потоки, ассоциирующиеся с грязевыми вулканами, могут представлять потенциальную опасность для устойчивости поверхности (см. [6]). Явления, связанные с грязевыми вулканами, конкретно не рассматриваются в настоящем Руководстве по безопасности, и критерии, изложенные в настоящем Руководстве по безопасности применительно к определению потенциальной активности других вулканов и связанных с ними вулканических опасностей не следует применять в отношении этих вулканов. Вместе с тем некоторые из методов, используемых в современной практике для оценки вероятности открытия новых вулканических жерл и для характеристики грязевых потоков вулканов, могут применяться для оценки опасностей, ассоциирующихся с грязевыми вулканами.

Образуемые вулканом обломки

I.15. Выброс вулканических обломков, таких как блоки, бомбы и другие твердые фрагменты, вызывается взрывами, происходящими внутри кратеров, куполов или жерл. Эти обломки приводятся в движение газом, находящимся под высоким давлением, и летят вниз по своим траекториям под действием силы тяжести. Скорость вулканических обломков может превышать 300 м/с, а максимальная дальность их горизонтального разлета может достигать 5 км от исходной точки. Крупные вулканические блоки или бомбы могут преодолевать несколько большие расстояния, чем можно ожидать, из-за снижения влияния сил сопротивления. Когда их размер достаточно мал, трение воздуха замедляет их в степени, достаточной для того, чтобы повлиять на траекторию их полета. Как правило, образуемые вулканом обломки диаметром свыше 1 м не испытывают значительного влияния сил сопротивления.

I.16. образуемые вулканом обломки могут ассоциироваться с широким спектром извержений, будучи в особенности характерными продуктами извержений стромболианского и вулканианского типов, и, таким образом, с извержениями сложных вулканов и щитовых вулканов, и моногенных вулканов. Выброс летящих вулканических обломков почти всегда сопровождается открытием новых жерл и вторичных жерл, ассоциирующихся с лавовыми и пирокластическими потоками.

Вулканические газы

I.17. Вулканические газы составляют значительную часть общей массы материала, выбрасываемого вулканами. Газы, исходящие из вулканических жерл, фумарол, сольфатар, мофетт и гидротермальных систем, могут быть высокореактивными и создавать опасность для человека и имущества. Вулканические газы состоят в основном из H_2O , однако включают также CO_2 , SO_2 , H_2S , CO , HCl и HF и образуют конденсаты с низким pH. Газы могут выделяться в больших количествах из уже существующих жерл, или из новых трещин, не связанных с существующими жерлами, или через почву на вулканах задолго до извержения или после него. Например, объем выбросов SO_2 на неизвергающемся вулкане может составлять от нескольких тонн до нескольких тысяч тонн в день, и они могут переноситься ветром на большие расстояния. Большое количество магматических газов, особенно CO_2 , также может внезапно высвободиться из озер в вулканических кратерах и тектонических разломах. Поскольку CO_2 тяжелее воздуха, плотные потоки CO_2 могут перемещаться по дренажным системам и собираться во впадинах

рельефа, вытесняя воздух и создавая опасность удушья. Взаимодействие вулканических газов с водой в атмосфере также приводит к кислотным дождям и возможному загрязнению поверхностных вод.

I.18. Выделение вулканических газов может происходить из лавовых потоков во время вулканических извержений, так как по мере перемещения по земной поверхности продолжают процессы охлаждения и кристаллизации этих лавовых потоков. Изменения в гидротермальных системах могут приводить к увеличению или сокращению выхода вулканических газов. Исследование состояния гидротермальной системы вулкана позволяет получить важную информацию о потенциале возникновения выбросов вулканических газов. Масштабные и постоянные выбросы газов характерны для кальдер и сложных вулканов. Такие выбросы также происходят на некоторых щитовых вулканах, особенно из рифтовых зон этих вулканов.

Цунами и сейши

I.19. Вулканогенные цунами и сейши могут возникать, когда происходит быстрый сход объемных (например, от 10^6 м^3 до более 10^9 м^3) оползней, пирокластических потоков или обломочных лавин в море или большие озера, или в результате подводных извержений вулканов. Обрушение постройки вулкана, вызванное вулканическими извержениями или землетрясениями, может приводить к большому смещению склонов, что, в свою очередь, может породить цунами в проксимальных водоемах.

I.20. Поскольку вулканы с крутыми склонами являются неустойчивыми структурами, любой такой вулкан, расположенный вблизи воды, является потенциальным источником этих явлений. Кроме того, батиметрические исследования показывают, что щитовые вулканы в океанических условиях были местом схода подводных обломочных лавин. Такие явления могут приводить к цунами в масштабах всего бассейна. Более того, даже умеренные извержения островных вулканов порождали цунами, хотя обычно именно масштабные эксплозивные извержения приводят к таким последствиям в экстремальных случаях.

Атмосферные явления

I.21. Эксплозивные извержения вулкана, такие как извержения вулканианского типа и фреатические извержения, могут породить волны воздушного давления, достаточно мощные, чтобы разбивать

окна в строениях на расстоянии нескольких километров. Латеральные вулканические взрывы могут сопровождаться воздушными ударными волнами и, таким образом, могут оказывать воздействие на территории, которые находятся на удалении, достигающем нескольких десятков километров от вулкана, в зависимости от характера взаимодействия взрыва и рельефа местности. Они сопровождаются выбросом вулканических бомб и блоков, как указано в пункте I.15, однако радиус воздействия ударной волны может быть больше, чем радиус разлета выбрасываемого материала.

I.22. В случае многих типов вулканических извержений часто возникают молнии, число ударов которых в наземные объекты может исчисляться сотнями. В некоторых случаях молнии и высокие статические заряды возникают на расстоянии до нескольких километров от извергающегося вулкана.

I.23. Извержениям вулканов могут сопутствовать локально экстремальные погодные явления. Обильные дождевые осадки могут сопровождать развитие explosивно-эруптивных колонн, так как частицы пепла в атмосфере вызывают внезапное зарождение дождевых капель. Обильные дождевые осадки во время выпадения тефры могут приводить к образованию лахаров. В результате образования explosивных колонн или залегания горячих лавовых потоков могут возникать нисходящие порывы (локально очень сильные ветры). Эти ветровые порывы могут наносить ущерб, выходящий за пределы залегания лавовых потоков.

I.24. Такие атмосферные явления могут возникать во время любого вулканического извержения, однако чаще всего они связаны с крупными explosивными извержениями.

Деформация грунта

I.25. Самые крупные по амплитуде естественные деформации грунта, которые когда-либо наблюдались, происходили на вулканах. Перед извержением вулкана деформация грунта может включать быстрое поднятие грунта на несколько метров или более. В целом на обширных территориях в ответ на интрузию магмы в вулканах может происходить смещение грунта в диапазоне от нескольких миллиметров до сантиметров. Деформация обычно происходит вокруг вулканов в результате синэруптивного разломообразования или неглубокой интрузии магмы. Режимы деформации включают поднятие, просадку и растяжение. Например, в результате извержения в 1977 году вулкана Усу на о. Хоккайдо (Япония) произошли

вертикальные смещения более 100 м. Даже медленная деформация склонов может со временем привести к значительному горизонтальному и вертикальному смещению, проявляющемуся в виде разломов, трещин и волнистостей на поверхности. Деформация грунта в кальдерах может приводить к значительным вертикальным подвижкам на больших площадях в разных временных масштабах. Крупномасштабная деформация грунта характерна практически для всех типов вулканов.

Вулканические землетрясения и сейсмические явления

I.26. Вулканические землетрясения и сейсмические явления обычно происходят в результате сбросов напряжения, связанных с подъемом магмы к поверхности. Существует две основные формы вулканосейсмической активности, которые могут вызывать потенциально опасные колебания грунта на площадке. Первыми являются переходные явления, такие как вулканотектонические и вулканические землетрясения. Эти переходные сейсмические возмущения длятся не более нескольких секунд или десятков секунд. Вторая категория обычно определяется общим термином «тремор», который носит гораздо более непрерывный и продолжительный характер и может продолжаться несколько часов или дней. Последствия тремора, как правило, невелики и локализованы в центре вулкана, тогда как вулканотектонические землетрясения могут возникать в 10 км или более от центра. Вулканический тремор лучше всего характеризуется ограниченным частотным составом и большой продолжительностью. Тремор обусловлен резонансными явлениями в системах больших размеров (т. е. от сотен метров до нескольких километров) и, следовательно, с частотой в несколько герц, и ассоциируется с движением флюидов.

I.27. Как правило, крупнейшие вулканические землетрясения имеют меньшую силу, чем крупнейшие землетрясения тектонического происхождения в геодинамически активном регионе. Характеристики вулканосейсмических событий могут существенно отличаться от характеристик тектонических землетрясений. Более того, вулканические землетрясения могут быть достаточно сильными или достаточно многочисленными (от сотен до тысяч землетрясений в сутки), чтобы их можно было рассматривать как часть оценки сейсмической опасности (см. [4]).

I.28. Вулканические землетрясения сопровождают все типы вулканических извержений и инициируются всеми типами вулканов.

Гидротермальные системы и аномалии подземных вод

I.29. С вулканами иногда ассоциируются протяженные гидротермальные системы. Гидротермальные системы создают повышенные температуры вблизи поверхности, которые могут приводить к кипению воды и преобразованию твердой породы в глину. Наличие активных гидротермальных систем или гидротермальные изменения могут указывать на расположенность к перемещениям больших масс, таким как оползни или обрушение постройки. Кроме того, гидротермальные системы могут продуцировать паровые взрывы, способные выбрасывать фрагменты породы на расстояние в несколько километров и образовывать эксплозивные кратеры диаметром в сотни метров. Взаимодействие восходящей магмы с подземными водами может вызвать фреатические или фреатомагматические извержения. Вулканическая активность или магматические интрузии, такие как дайки, могут изменять структуру потока подземных вод и вызывать колебания глубины водного зеркала. Из недр вулканических построек могут происходить внезапные выбросы воды и грязи, не связанные с выпадением дождевых осадков. Эти выбросы способны порождать лахары, обусловленные нарушением гидротермальной системы или системы подземных вод в результате вулканических интрузий. Интрузии магмы также могут инициировать взрывы в гидротермальной системе. Изменения в системе подземных вод могут приводить к просадкам на карстовых территориях. В арктических районах в ответ на изменения в потоке подземных вод или в результате формирования гидротермальных систем могут развиваться такие явления, как термокарст. Изменения гидрогеологии площадки из-за вулканической активности могут также приводить к изменению гидравлического давления в почвеносущих слоях и водоносных горизонтах. Развитие гидротермальных систем и аномалий подземных вод наиболее распространено в кальдерах и может ассоциироваться со всеми типами вулканов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка площадок для ядерных установок, Серия норм по безопасности МАГАТЭ, № NS-R-3, МАГАТЭ, Вена (2010).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Внешние события техногенного происхождения в оценке площадки для атомных электростанций, Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № NS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Рассеяние радиоактивных материалов в воздухе и воде и учет распределения населения при оценке площадки для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-3.2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9, IAEA, Vienna (2010).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-18, IAEA, Vienna (2011).
- [6] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Геотехнические аспекты оценки площадок и оснований АЭС, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-3.6, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [7] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ЕВРОПЕЙСКОЕ СООБЩЕСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Основопологающие принципы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, МАГАТЭ, Вена (2007).
- [8] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности: терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [9] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № R-3, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: ввод в эксплуатацию и эксплуатация, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/2, МАГАТЭ, Вена (2012).

Приложение I

СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ

I–1. Вулканическая активность часто включает в себя сложную серию событий и может сопровождаться развитием ряда опасных вулканических явлений. Вулканическая активность часто начинается с периода волнений, который может продолжаться в течение длительного отрезка времени (например, десятилетий) и который часто не сопровождается извержением. После начала извержений они могут длиться на протяжении от нескольких минут до многих лет. Такая продолжительность активности и связанная с ней неопределенность означает, что вулканические события разнообразны и сложны, и часто их лучше всего рассматривать как сочетание возможных сценариев. Рассмотрение таких сценариев является важной частью оценки вулканических опасностей. Сложность вулканических извержений и, следовательно, сложность оценки опасностей иллюстрируют следующие три гипотетических сценария.

Сценарий 1: извержения, характерные для сложных вулканов

I–2. Сложные вулканы представляют собой конические вулканы с крутыми склонами, постройка которых произошла в результате эффузии лавовых потоков и куполов, а также вследствие эксплозивного извержения пирокластического материала, образующего пирокластические потоки и выпадение тефры. Несмотря на то, что некоторые сложные вулканы имеют структуру, свидетельствующую о прошлой активности, которая может быть использована для оценки вероятности возникновения опасных явлений, сложные вулканы характеризуются непредсказуемостью, и необходимо надлежащим образом учитывать широкий спектр потенциально опасных эксплозивных и эффузивных явлений. Геологическая летопись многих сложных вулканов подтверждает, что резкие изменения в составе или эруптивном характере являются обычным явлением и что эруптивные центры могут внезапно возникать на расстоянии километров от центрального (вершинного) жерла.

I–3. Типичное извержение, как правило, начинается с вулканических волнений, таких как изменения фоновой сейсмичности, деформация постройки вулкана или увеличение выбросов магматических газов, которые могут быть обнаружены посредством мониторинга. Потенциально предвестниковые волнения могут длиться как несколько часов, так и

несколько десятилетий. Начало волнений не обязательно означает, что произойдет извержение. В действительности периоды волнений без извержений встречаются чаще, чем периоды волнений, кульминацией которых являются извержения.

I-4. При происходящем извержении может возникнуть широкий спектр одновременных опасностей в течение периода от нескольких часов до нескольких лет, часто с длительными интервалами отсутствия активности. Первоначальная активность может начаться с мягкого излияния лавы из флангового жерла, за которым позже следует внезапное проявление эксплозивной активности вершинного жерла. В других примерах предвестниками начала извержения являются крупные взрывы. Пирокластические потоки и выпадения тефры могут характеризовать дни устойчивой активности, за которыми следует прекращение извержения или длительный период эффузии лавы из купола. Потоки обломочного материала обычно возникают, когда пирокластические потоки проникают в активные дренажные системы, или в результате выпадения обильных дождевых осадков. В ходе извержения происходят вулканогенные землетрясения и повышается потенциал возникновения оползней или разрушения склонов. Большая высота сложной вулканической постройки является показателем значительного энергетического потенциала возникновения потоков обломочного материала и оползней, инициируемых крупномасштабным (например, порядка кубических километров) обрушением постройки. В ходе эруптивной активности сложного вулкана не обязательно возникают все явления, однако потенциал возникновения нескольких явлений во время одного извержения чрезвычайно высок в случае такого вулкана.

I-5. Ядерная установка, построенная на расстоянии от нескольких десятков до сотен километров от сложного вулкана, проявляющего такую эруптивную активность, может подвергаться воздействию многочисленных потенциально опасных явлений, возможно, в течение длительного периода времени. Например, выпадение тефры на площадке может продолжаться неделями, месяцами или дольше. Эксплозивная вулканическая активность может способствовать возникновению потоков обломочного материала, так как водные пути переносят гораздо больше осадочного материала в результате такой эруптивной активности в течение многих лет после извержения. Таким образом, такая ядерная установка может подвергнуться воздействию со сценариями многочисленных опасностей в результате одного извержения вулкана.

Сценарий 2: эффузивные извержения, характерные для щитовых и сложных вулканов

I–6. Эффузивное извержение флюидной лавы, как правило, начинается с образования эруптивных трещин, ассоциирующихся с локальной сейсмичностью, деформацией грунта, газообразными эманациями и аномальным тепловым потоком. Как правило, извержениям предшествуют месяцы или годы неэруптивных явлений или неэруптивной активности, которые в идеальном случае сопровождаются заметными изменениями некоторых параметров по мере подъема магмы к поверхности. Однако в эффузивных системах, продуцирующих флюидную лаву, подъем магмы на поверхность может быть очень быстрым, и иногда лишь несколько часов отделяют начало высокоуровневой сейсмичности перед извержением от фактического извержения лавы. Таким образом, в случае эффузивного извержения на расположенной поблизости ядерной установке может оставаться мало времени для принятия мер по обеспечению безопасности.

I–7. На щитовых вулканах и некоторых сложных вулканах такая эффузивная активность в процессе извержения может локализовываться в пределах нескольких десятков километров от центрального жерла вулкана. При достижении магмой поверхности лавовые фонтаны могут достигать высоты от нескольких десятков до сотен метров над жерлом и простираются на несколько сотен метров (т. е. создавая огненный занавес). В конечном итоге жерло уменьшается, принимая более цилиндрическую форму, и извержение может продолжаться в течение периода от нескольких часов до нескольких дней, образуя потенциально большое количество тefры, которая переносится вниз по ветру относительно низкими эруптивными колоннами (например, менее нескольких километров в высоту), и газов (например, SO_2 , CO_2 , H_2O , HCl , HF), которые могут вызывать выпадение кислотных дождей с подветренной стороны и приводить к возникновению проблем токсичности для людей и животных, коррозии инфраструктурных элементов и нарушению работы гражданской авиации. Лавовые потоки изливаются из этого жерла, и извержение этих лав может длиться от нескольких часов до нескольких месяцев из одного и того же жерла.

I–8. Потоки флюидной лавы могут перемещаться со скоростью 1–20 м/с. Они образуют потенциально обширные поля лавовых потоков, отдельные потоки или и то и другое в различных пространственно-временных масштабах. Образование корковых лавовых потоков часто приводит к образованию лавовых труб, через которые лава может протекать с незначительными тепловыми потерями и, таким образом, достигать территорий, находящихся

относительно далеко от жерла. Внезапное разрушение лавовых труб или вторичных лавовых бассейнов, образующихся по течению потока, или латеральных фронтов лавовых потоков (т. е. лавовых валов), может порождать дополнительные быстро движущиеся потоки с различными характеристиками, направленные в разные стороны от основного потока.

I–9. Эффузивные вулканы могут иметь тип эруптивного поведения, сохраняющийся в течение длительных периодов времени, а затем внезапно изменяющийся с переходом в другой тип (например, извержения в центре кратера сменяются фланговыми латеральными извержениями), или же они могут переключаться с одного типа на другой от извержения к извержению или в пределах одного и того же извержения. Извержения могут происходить одновременно из центральных жерл, а также из латеральных жерл, расположенных низко на флангах вулканических рифтовых зон. Продуцирующие тефру лавовые фонтаны могут сосуществовать с долгоживущими лавовыми потоками из одной и той же постройки и во время одного и того же извержения.

I–10. Таким образом, ядерная установка, расположенная вблизи вулкана, проявляющего такую эруптивную активность, может подвергаться воздействию опасных явлений в случае проникновения (инкурсии) на территорию площадки лавовых потоков, открытия новых жерл, выпадения тефры, газовых выбросов или связанной с ними сейсмической активности. Некоторые из этих явлений относятся к категории запроектных событий (выходящих за рамки проектных основ) для ядерных установок и поэтому в процессе выбора и оценки площадки должны признаваться недопустимыми применительно к рассматриваемой площадке. Следовательно, очень важной является оценка потенциальной способности вулканической системы продуцировать такие эффузивные потоки, которые могут оказывать воздействие на площадку. В случае выявления такой потенциальной способности необходимо, чтобы в модели вулканических опасностей для данной площадки учитывался характер сопряженных вулканических явлений, таких как сценарий, при котором открываются новые жерла и из этих фланговых жерл вытекает эффузивная лава.

Сценарий 3: извержения, характерные для вулканических полей

I–11. Местом проявления вулканизма не всегда являются центральные жерла существующих сложных или щитовых вулканов. Во многих случаях вулканизм распределен по территории близлежащего вулканического региона, и возобновление вулканической активности приводит к

образованию новых жерл. На таких больших вулканах, как Фудзи (Япония) или Этна (Италия), процесс образования новых жерл четко прослеживается по распределению сотен шлаковых конусов и связанных с ними вулканических образований, которые покрывают ландшафт на десятки километров вокруг вулкана. В других местах вулканизм создает вулканические поля, иногда состоящие из сотен отдельных жерл, распределенных на площади в сотни или тысячи квадратных километров, где каждое жерло открывается в отдельности по мере подъема на поверхность определенной порции магмы.

I–12. Активность, ассоциирующаяся с открытием новых жерл, начинается с подъема магмы через земную кору. Часто эта магма поднимается в виде пластинообразной дайки, обычно менее одного метра в ширину и, возможно, несколько километров в длину, при этом скорость подъема в земной коре составляет примерно 1 м/с. Первым признаком такой активности с большой долей вероятности является серия землетрясений с низкой магнитудой в данном регионе. Имеются наблюдения, свидетельствующие о сотнях и тысячах землетрясений в день, связанных с подъемом магмы такого характера. Если результаты сети сейсмических наблюдений достаточно точны, то можно обнаружить, что такие гипоцентры землетрясений постепенно приподнимаются по мере подъема вершины магматической дайки на менее глубокие уровни, хотя такая миграция сейсмических гипоцентров наблюдается крайне редко. В некоторых случаях это восхождение останавливается естественными процессами, и дайка остывает в земных недрах, не образуя нового жерла.

I–13. Когда формируется новое жерло, первым проявлением на поверхности обычно является деформация грунта. Эта деформация грунта часто включает зоны разломов шириной примерно до 10 м и длиной от сотен метров до километров, сопоставимой с длиной самой дайки. Подъем магмы на поверхность часто происходит прерывисто вдоль всей системы разлома. Однако в течение нескольких часов эта активность обычно локализуется в одном или нескольких новых жерлах. Массовый поток магмы из этих жерл со временем быстро увеличивается, создавая огненный фонтан из раскаленной породы, поднимающийся на сотни метров в воздух и обрушивающий фракции на окружающую местность. При наличии большого количества воды на поверхности или вблизи нее эта начальная активность может стать высокоэxpлозивной, создавая такие вулканические явления, как пирокластические волны, и образуя кратеры, диаметр которых может превышать 1 км. В некоторых случаях образуются плавучие вулканические шлейфы (плюмы), которые переносят тефру

на высоту нескольких километров или даже десятков километров над новым эруптивным жерлом. В результате такой вулканической активности происходит быстрый рост шлаковых конусов, которые обычно достигают высоты более 100 м при диаметре основания в сотни метров. Часто в процессе извержения формируются лавовые потоки. В зависимости от состава и интенсивности эффузии лав эти потоки могут достигать территорий, находящихся на удалении от нового жерла, составляющем десятки километров. Новые жерла могут образоваться в любое время вдоль исходной трещины. Наблюдения показывают, что в одних случаях такие извержения продолжались в течение менее одного месяца, в то время как в других случаях они длились на протяжении десятилетия. Известно, что в некоторых случаях периодическая активность новых жерл длилась более ста лет. Таким образом, открытие нового жерла и предвестники такого события представляют собой сложную последовательность, которая может приводить к широкому спектру опасных явлений на территории ядерной установки, расположенной в данном регионе.

I–14. Приведенные выше примеры носят исключительно иллюстративный характер, однако они свидетельствуют о сложном характере вулканических опасностей и указывают на необходимость разработки комплексных моделей вулканических опасностей при выявлении вулканов, потенциально способных оказывать воздействие на площадку ядерной установки. Как видно из этих примеров, во время одного вулканического события может возникать множество вулканических опасностей. Вулканические явления могут продолжаться в течение длительного периода времени (иногда в течение многих лет) и могут оказывать воздействие на большие территории.

Приложение II

МИРОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

II-1. Оценка потенциальных источников вулканической активности представляет собой сложную задачу, даже на этапе первоначальной оценки (этап 1). Необходимы соответствующие экспертные знания в области оценки вулканических опасностей и надежные источники данных. На международном уровне основной организацией, занимающейся изучением вулканов и смягчением вулканических опасностей, является Международная ассоциация вулканологии и химии недр Земли (ИАВСЕИ, [II-1]). В число комиссий в рамках ИАВСЕИ, имеющих прямое отношение к оценке вулканических опасностей для ядерных установок, входят Всемирная организация вулканических обсерваторий (ВОВО, [II-2]), Комиссия по городам и вулканам [II-1] и Комиссия по статистике вулканологии [II-3]. ИАВСЕИ и эти комиссии ИАВСЕИ служат источником важной информации о состоянии дел в области оценки вулканических опасностей, обеспечивают доступ к конкретной информации о вулканизме по регионам, а также доступ к конкретным методам, необходимым для количественной оценки вулканических опасностей. Существует несколько баз данных, которые могут быть весьма полезными при проведении оценки вулканических опасностей, в особенности на этапе начальной оценки (этапе 1).

II-2. В рамках Глобальной программы по вулканизму (ГПВ) Смитсоновского института осуществляются сбор и верификация глобальных данных о вулканической активности в эпоху голоцена [II-4, II-5] (см. рис. II-1). База данных ГПВ сама по себе недостаточна для проведения начальных оценок применительно к ядерным установкам, но она представляет собой отличный вспомогательный ресурс для целей этих оценок. Всемирная организация вулканологических обсерваторий (ВОВО) также работает над созданием глобальной базы данных по историческим вулканическим волнениям.

II-3. Многие государства располагают национальными базами данных по голоценовому вулканизму (например, Российская Федерация [II-6], Соединенные Штаты Америки [II-7]). Геологическая служба Японии имеет детальную базу данных по активным [II-8] и четвертичным вулканам [II-9] Японии, включая подробные геологические карты конкретных вулканов и сведения о недавней вулканической активности. Такие ресурсы являются

полезной моделью, которую можно использовать для формирования базы данных для данной конкретной площадки при проведении начальной оценки.

II-4. Важным источником информации об уточненных критериях и методологиях оценки вулканических опасностей применительно к атомным электростанциям может служить публикация [II-10].

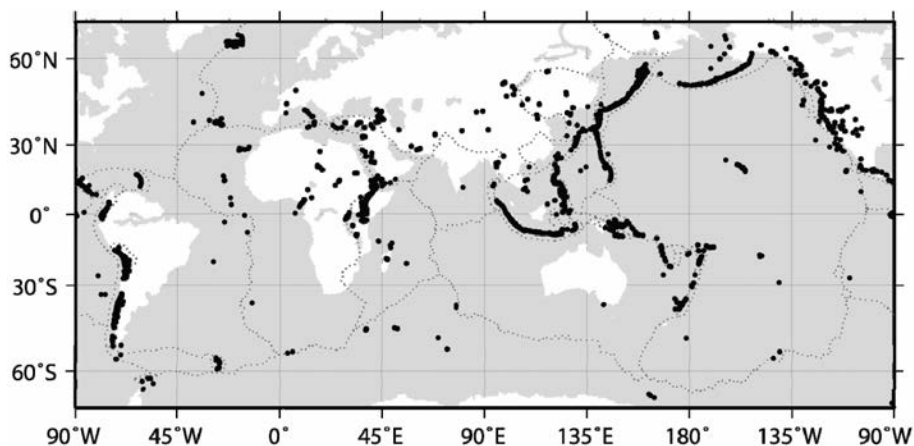


Рис. II-1. Карта, иллюстрирующая глобальное распределение субареальных и подводных вулканов, проявивших активность в течение последних 10 000 лет, включая границы основных плит (точечные линии). Данные предоставлены ГПВ [II-5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЯ II

- [II-1] International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI),
<http://www.iavcei.org>
- [II-2] World Organization of Volcano Observatories (WOVO),
<http://www.wovo.org>
- [II-3] IAVCEI Commission on Statistics in Volcanology (COSIV),
<http://cosiv.rc.usf.edu/>
- [II-4] SIMKIN, T., SIEBERT, L., Volcanoes of the World, Second edition, Geoscience Press, Tucson, AZ (1994).

- [II-5] The Smithsonian's Global Volcanism Program,
<http://www.volcano.si.edu>
- [II-6] KVERT: Active Volcanoes of Kamchatka and Northern Kuriles,
http://www.ksnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/index_eng.php
- [II-7] Volcanoes, US Geological Survey,
<http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/framework.html>
- [II-8] Database of Japanese Active Volcanoes,
<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db099/index-e.html>
- [II-9] Quaternary Volcanoes in Japan,
http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/EN/index.htm
- [II-10] CONNOR, C., et al., Volcanic and Tectonic Hazard Assessment for Nuclear Facilities,
Cambridge University Press, Cambridge (2009).

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВУЛКАНОЛОГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

андезит {andesite}. Вид вулканической породы, которая характерна для многих сложных вулканов. Состав андезита (52–63% SiO_2 по массе) промежуточный между базальтом и дацитом. Он часто образует вязкие, щебенчатые потоки лавы. Вместе с тем магма обычно содержит умеренное количество воды и поэтому может вызывать мощные эксплозивные извержения, образующие высотные эруптивные колонны, богатые пемзой и шлаком, пирокластические потоки и волны. Андезит обычно извергается при температурах 900–1100°C.

базальт {basalt}. Тип вулканической породы темного цвета, которая часто образует потоки лавы и низкорасположенные вулканы. В составе базальта содержится более 52% SiO_2 по массе, что позволяет растворенным газам выходить из магмы. Этот тип магмы часто ведет себя менее эксплозивно, чем более вязкая магма, но вместе с тем базальтовая магма извергается эксплозивно, в частности, если происходит ее взаимодействие с подземными водами или с морской водой. Базальт обычно извергается при температурах 1100–1250°C.

байесовская статистика {Bayesian statistics}. Парадигма метода вероятностного анализа, основанного на спецификации предварительных распределений для всех неизвестных параметров, за которым следует применение теоремы Байеса для включения дополнительной информации, содержащейся в данных. Этот принцип может применяться в вулканологии в качестве метода, помогающего ограничить результаты и оценки неопределенности статистического и численного моделирования благодаря использованию как можно большего количества имеющихся данных и другой соответствующей информации. В противоположность этому частотная статистика базируются на данных (паттернах) прошлых событий для моделирования вероятности возникновения события в будущем. Байесовские методы позволяют включать больше геологической информации в оценку вероятности возникновения события, чем это возможно при использовании частотного подхода.

блок (вулканический) {block}. Угловатый фрагмент вулканической породы со средним диаметром более 64 мм, который не деформируется при переносе даже в горячем состоянии. Вулканические блоки часто ломаются при ударе о земную поверхность. См. также «тефра» и «бомба».

блочно-пепловый поток {block and ash flow}. Тип пирокластического потока, как правило с большой концентрацией фракций, включая блоки плотной лавы (диаметром от дециметров до метров), находящиеся в смеси более мелкозернистых частиц. Эти потоки возникают в результате гравитационного обрушения лавовых куполов и фронтов потоков вязкой лавы. См. «пирокластический поток».

бомба (вулканическая) {bomb}. Пирокласт (фрагмент вулканической породы) со средним диаметром более 64 мм, который выбрасывается во время вулканического взрыва и который является достаточно горячим, чтобы испытывать пластическую деформацию во время транспортировки. См. также «тефра» и «блок».

взрыв (направленный взрыв) {blast (directed blast)}. Вулканический взрыв старой или ювенильной магмы с латерально направленным низкоугловым компонентом ее появления в результате внезапной разгерметизации вулканического купола, вулканического малоглубинного магматического тела или малоглубинной гидротермальной системы. Вулканические взрывы могут образовывать разжиженную смесь газа и вулканических фрагментов (блоки и обломки меньшего размера), которые обычно перемещаются в виде латерально расширяющихся сильно турбулентных пирокластических волн со значительными скоростями (до 500 км/ч) и способны вызывать широкомасштабные разрушения. См. также «пирокластическая волна».

вулкан {volcano}. Природное образование, имеющее жерло (выводной канал) на земной поверхности, через которое может происходить извержение лавы, твердой породы, попутных газов и жидкой воды. Постройка, образующаяся в результате эксплозивного или эффузивного накопления этих продуктов с течением времени, также является частью вулкана.

вулканическая активность {volcanic activity}. Явления или процессы, происходящие в месте расположения вулкана или в пределах вулканического поля, которые связаны с присутствием магмы и разогретых газов, исходящих из недр Земли, их взаимодействием с близлежащими породами земной коры или подземными водами. Вулканическая активность включает сейсмичность, фумарольную активность, высокие скорости тепловых потоков, выброс подземных газов, термальные источники, деформацию, растрескивание грунта, нагнетание давления в водоносные горизонты и выброс пепла. Данный термин охватывает вулканические волнения и вулканическое извержение.

вулканическая опасность {volcanic hazard}. Вулканический процесс или явление, которое может оказать неблагоприятное воздействие на людей или инфраструктуру. В более ограниченном контексте оценки риска это — вероятность возникновения в течение определенного периода времени в данном районе потенциально разрушительного вулканического события с определенным уровнем интенсивности (например, толщиной выпадения тefры).

вулканические волнения (вулканическая активизация) {volcanic unrest}. Изменение характера, интенсивности, пространственно-временного распределения и хронологии геофизической, геохимической и геологической активности и явлений, наблюдаемых и регистрируемых в месте расположения вулкана, по сравнению с известным фоновым уровнем активности данного вулкана или других аналогичных вулканов вне периодов эруптивной активности. Вулканические волнения могут быть предвестником и кульминацией извержения, при этом в большинстве случаев поднимающаяся магма или находящиеся под давлением флюиды, вызывающие активизацию, не прорываются на поверхность и не извергаются.

вулканическое землетрясение {volcanic earthquake}. Сейсмическое событие, вызванное и прямо связанное с процессами в недрах вулкана. Вулканические землетрясения и сейсмическая активность принимают разную форму и подразделяются на множество типов (например, вулканотектонические землетрясения, длиннопериодные события, гибридные события, толчки, рои землетрясений) и проявляются до, во время и после извержений, и их характеристики и паттерны поведения используются для получения выводов о том, что происходит внутри вулкана в разное время. Сейсмический мониторинг является наиболее

фундаментальным методом, используемым для прогнозирования начала извержения и оценки потенциала вулканического извержения. Возрастающая сейсмичность, непрерывные толчки (тремор), смещения, происходящие со временем в гипоцентрах по направлению к поверхности, и возникновение мелких длиннопериодных (или низкочастотных) событий предполагают высокую вероятность того, что начало извержения очень близко. Толчки могут также продолжаться во время извержений.

вулканическое поле (также группа вулканов) {volcanic field (also termed volcano group)}. Пространственное скопление вулканов. Размеры вулканических полей варьируются от нескольких до более чем 1000 вулканов. Вулканические поля могут состоять из моногенных вулканов (например, вулканическое поле Чима, США) или одновременно из полигенных и моногенных вулканов (например, Ключевская группа вулканов, Российская Федерация).

вулканическое событие {volcanic event}. Любое явление или последовательность явлений, ассоциирующихся с вулканами, которые могут приводить к возникновению вулканических опасностей. Вулканические события могут быть формально определены в рамках оценки опасностей для значимого определения периодов покоя и опасностей. К вулканическим событиям относятся извержения, и, как правило, они включают возникновение неэруптивных опасных явлений, таких как оползни.

геологическая летопись, геологический разрез (профиль) {geological record}. Последовательность слоев земной коры в вертикальной плоскости, также называемая стратиграфическим разрезом (профилем). Самые старые слои залегают в основании разреза, при этом последовательно более молодые слои располагаются выше по разрезу. Геологи используют стратиграфический разрез для определения относительного возраста месторождений. Вулканическая стратиграфия часто носит сложный характер: отложения характеризуются относительно ограниченной латеральной протяженностью, быстрой сменой фаций и многократными эпизодами эрозии и заполнения долин.

гиперконцентрированный поток {hyperconcentrated flow}. Текущая смесь отложений и воды, имеющая промежуточные характеристики и концентрацию отложений по отношению к грязевому потоку и потоку

обломочного материала. Гиперконцентрированный поток не имеет заметного предела текучести и обычно содержит 20–60% отложений по объему.

голоцен {Holocene}. Современная геологическая эпоха четвертичного периода, определяемая как интервал от 10 000 лет до н.э. до настоящего времени.

голоценовый вулкан {Holocene volcano}. Вулкан или вулканическое поле, в отношении которого имеются сведения об извержении в течение последних 10 000 лет (эпоха голоцена). Сообщения об исторической активности и радиометрическое датирование вулканических продуктов являются самыми прямыми свидетельствами вулканических извержений в эпоху голоцена. В некоторых случаях, особенно на ранних стадиях исследования площадки, установление точного возраста наиболее поздних вулканических продуктов может быть затруднено. В таких случаях для признания вулкана голоценовым вулканом могут использоваться дополнительные свидетельства с применением методов, предложенных Смитсоновским институтом⁹. К числу этих свидетельств относятся: i) вулканические продукты, лежащие поверх ледниковых обломков последнего плейстоцена; ii) молодые вулканические формы рельефа в районах, где эрозия должна была проявиться через многие тысячи лет; iii) растительность, которая была бы намного богаче, если бы вулканическим субстратам было более нескольких тысяч (или сотен) лет; iv) продолжающаяся фумарольная дегазация или наличие гидротермальной системы на вулкане. Кроме того, некоторые вулканы могут быть с долей сомнения отнесены к голоценовым(?) вулканам. Вулканы определяются как голоценовые(?), если авторитетные источники расходятся во мнениях относительно проявления вулканизма в голоцене или когда первоначальный исследователь выражает неуверенность в наиболее достоверной оценке даты самого последнего извержения. В этих случаях целесообразно считать такие вулканы голоценовыми для целей настоящего Руководства по безопасности и проводить оценку опасностей.

⁹ См. SIMKIN, T., SIEBERT, L., *Volcanoes of the World*, 2nd Ed. Geoscience Press (1994).

горячая точка {hot spot}. Место на поверхности Земли с проявлением вулканизма в результате теплового или композиционного возмущения или шлейфа в мантии Земли. Многие горячие точки располагаются во внутриплитных тектонических структурах, вдали от границ тектонических плит, где часто развивается вулканизм.

грязевой поток {mudflow}. Общий термин для потока воды и грунтового материала, обладающего высокой степенью текучести в процессе своего движения. См. также «поток обломочного материала» и «лахар».

дайка {dyke}. Пластинообразное, часто вертикальное или почти вертикальное тело изверженной породы, образовавшееся в результате затвердевания заполненных магмой трещин, которые пронизывают прежде существовавшие породы и геологические структуры. Дайки, по которым магма изливается из глубоких резервуаров к поверхности, могут застывать на небольшой глубине в земной коре, питать вулканический канал или сами извергаться на поверхности. Залегание даек на небольшой глубине может приводить к деформации земной поверхности или вызывать обрушение склонов вулкана.

дацит {dacite}. Магматическая порода промежуточного состава между андезитом и риолитом. Эти породы содержат 63–68% SiO_2 по массе. Благодаря высокому содержанию SiO_2 дацитовые магмы могут иметь высокую вязкость и извергаться эксплозивно, порождая такие эруптивные явления, как пирокластические потоки. Дацитовые магмы обычно извергаются при температурах 800–1000°C.

дегазация {degassing}. Процесс, в котором летучие вещества, растворенные в магме, образуют отдельную газовую фазу и выходят из магмы. Медленная дегазация образует пузыри в лавовых потоках, тогда как быстрая дегазация может приводить к эксплозивной фрагментации магмы и образованию пирокластов. Эффективность дегазации магмы перед выходом на поверхность является одним из факторов, влияющих на эксплозивность извержений.

жерло (выводной канал) {vent}. Отверстие в земной коре, через которое происходит извержение вулканических продуктов (например, лавы, твердой породы, газов, водных масс). Жерла могут иметь округлую форму (жерло с кратером на вершине), либо быть в виде продолговатых трещин или расколов, или же небольших трещин в грунте.

извержение (вулканическое, вулкана) {eruption, volcanic}. Процесс, происходящий на вулкане или в вулканическом канале, включая эксплозивный выброс обломочного материала, излияние расплавленной лавы, внезапное высвобождение большого количества вулканических газов (например, CO_2), или процесс, в котором глубинные области вулканических систем, таких как гидротермальная система, с различных глубин выносятся на поверхность при обрушении вулканических построек. Извержения являются магматическими, если в продуктах извержения присутствует новая затвердевшая магма, и немагматическими (фреатическими), если в них участвуют только вторичные фрагменты породы. Длительность извержений может варьироваться в широких временных интервалах (от нескольких секунд до нескольких лет). См. также «фреатическое извержение», «фреатомагматическое извержение», «плинианское извержение», «стромболианское извержение», «извержение гавайского типа», «извержение вулканианского типа», «эксплозивное извержение», «эффузивное извержение».

извержение вулканианского типа {vulcanian eruption}. Тип вулканического извержения, характеризующийся дискретными взрывами, в результате которых образуются ударные волны и пирокластические извержения. Извержения вулканианского типа обычно происходят, когда вулканические газы накапливаются в затвердевающем неглубоком канале или куполе, что приводит к росту давления в магме до точки хрупкого разрушения. В случае извержений вулканианского типа чаще всего формируются андезитовые и дацитовые магмы. Примерами недавних извержений вулканианского типа являются извержения вулкана Сакурадзима (Япония), вулкана Суфриер-Хиллс (о. Монтсеррат) и вулкана Колима (Мексика).

извержение гавайского типа {Hawaiian-style eruption}. Тип вулканического извержения, характеризующийся извержением пирокластов на высоту более 500 м над жерлом, часто из трещин или жерловых систем, которые могут простираться на 1 км и более. Скорость эффузии и объем лавы при извержениях гавайского типа могут быть довольно большими, если их интегрировать по всей трещинной зоне, и такие извержения могут продолжаться в течение длительного времени, обычно более года.

игнимбрит {ignimbrite}. Отложение пирокластических потоков, также называемое туфом, образованным пепловым потоком, состоит в основном из пемзы и пепла. По внешнему виду игнимбриты могут варьироваться от рыхлых скоплений пирокластов до сильно плотных (т. е. спаянных) отложений, напоминающих кирпич.

индекс вулканической эксплозивности (VEI) {volcano explosivity index (VEI)}. Классификационная шкала эксплозивной магнитуды извержения, основанная прежде всего на оценке общего объема извергнутой тефры, но в некоторых случаях для определения величины VEI учитываются высота эруптивной колонны и продолжительность непрерывного эксплозивного извержения. Величина VEI варьируется от VEI-0 (неэксплозивное извержение с выбросом объемом менее 10^4 м³ тефры) до VEI-8 (крупнейшее или мегаколоссальное эксплозивное извержение, определенное на основании геологических данных, с выбросом объемом свыше 10^{12} м³ тефры). Интервал увеличения эксплозивности по шкале VEI в целом соответствует десятикратному увеличению объема выбрасываемой тефры. Единственным исключением является переход от VEI-0 к VEI-1, который эквивалентен стократному увеличению объема выбрасываемой тефры.

интрузивная залежь (силл) {sill}. Пластинообразная магматическая интрузия, часто горизонтальная или субгоризонтальная, которая является конкордантной с уже существующими геологическими структурами. См. также «дайка».

йокульхлауп {jökulhlaup}. Наводнение или поток обломочного материала, образовавшиеся в результате таяния льда или снега ледника в ответ на подледниковые вулканические извержения.

кальдера {caldera}. Большая циркообразная впадина (котловина), обычно более одного километра в диаметре, которая может формироваться в результате: i) выброса магмы из неглубокого очага за счет мощной эксплозивной активности, приводящей к распространению вулканических пеплопадов и пирокластических потоков на больших площадях; ii) выхода магмы из неглубокого очага и провала вышележащих пород; iii) секторного обрушения вулкана из-за потери устойчивости постройки. Большое количество кальдер характеризуются длительными периодами покоя, эпизодами волнений

и извержениями различного масштаба. Их геологическая история часто свидетельствует об очень долгой жизни, нередко длящейся миллионы лет.

канал (вулканический) {conduit}. Проход, по которому магма достигает поверхности вулкана. Геометрия канала может быть разной — от плитообразных даек до почти цилиндрических субвертикальных труб, но возможна и сложная геометрия. Отверстие канала на поверхности является жерлом. См. «жерло (выводной канал)».

кора {crust}. Внешняя твердая оболочка Земли. Она составляет менее 1% объема Земли и колеблется по толщине от примерно 6 км под океанами до примерно 60 км под горными цепями.

купол {dome}. Крутобкое нагромождение породы, образовавшееся в результате экструзии лавы. Купола состоят часто, но не исключительно из андезитовой или риолитовой магмы. Купола обычно формируются, когда магма очень вязкая или медленно выдавливается, накапливаясь вокруг жерла, вместо того чтобы растекаться дальше от жерла. Пирокластические потоки могут образовываться в результате обрушения лавовых куполов. К последним извержениям с образованием лавовых куполов относятся недавние извержения вулкана Суфриер-Хиллс (о. Монтсеррат), извержение в 1991–1995 годах вулкана Унзен (Япония) и извержения в 1994 и 2006 годах вулкана Мерапи (Индонезия).

лава {lava}. Расплавленная порода, извергающаяся в виде эффузивного купола или потока на поверхность Земли вулканом или эруптивной трещиной. При первом выбросе из вулканического канала лава представляет собой жидкую массу, имеющую очень высокую температуру, обычно 700–1200°C. Потоки лавы различаются по вязкости на много порядков величины, и это сильно влияет на их свойства текучести.

лапилли {lapilli}. Тип пирокласта (т. е. фрагмент вулканической породы) со средним диаметром более 2 мм и менее 64 мм. Лапилли иногда образуются в эруптивных колоннах за счет аккреции частиц размером с пепел, называемых аккреционными лапиллями. См. также «тефра».

лахар {lahar}. Поток обломков или гиперконцентрированный поток, зарождающийся на вулкане и состоящий главным образом из вулканических фрагментов. См. «поток обломочного материала».

летучий компонент {volatile}. Растворенный компонент в магме в условиях высокого давления и высокой температуры, образующий отдельную газовую фазу при более низких давлениях и температурах. Самым распространенным летучим компонентом в магме является вода, за ней следуют CO_2 и SO_2 . Быстрое расширение газа, высвобождающегося из магмы в вулканическом канале, взрывообразно выбрасывает фрагменты магмы (лаву, пемзу, шлаки, пепел и т. д.) из жерла в воздух.

магма {magma}. Смесь расплавленной породы (800–1200°C), которая также может содержать находящиеся во взвешенном состоянии кристаллы, растворенные газы и иногда пузырьки газа. Магма образуется в результате плавления породы, находящейся в земной коре или в мантии Земли. Состав и газосодержание магмы, как правило, определяют тип извержения вулкана. В целом в случае более горячей и менее вязкой магмы (например, базальтовой) происходит более эффективное выделение газов, что ограничивает взрывную силу извержения, в то время как более холодная и более вязкая магма (например, андезит, дацит, риолит) подвержена сильному дроблению во время извержения.

магматическая камера (магматический резервуар) {magma chamber}.

Подземный резервуар, заполненный магмой, которая выталкивается из него во время вулканического извержения. Магма в этих резервуарах может частично кристаллизовываться или смешиваться с новой магмой, что со временем может приводить к изменению состава продуктов извержения или опасности.

магматический (изверженный) {igneous}. Данный термин используется для описания характеристик, относящихся к породам, которые сформировались из магмы. Образовавшиеся в результате извержения вулкана магматические породы (вулканические породы) обычно делятся на четыре основных типа в зависимости от содержания SiO_2 : базальты, андезиты, дациты и риолиты.

мантия {mantle}. Твердая оболочка Земли толщиной около 2300 км, находящаяся между корой и ядром. Базальтовая магма образуется за счет частичного плавления мантийных пород.

мониторинг вулкана {volcano monitoring}. Геофизический, геохимический и геологический мониторинг, проводимый с целью оценки потенциала ожидаемого извержения, прогнозирования начала извержения, понимания происходящего извержения, а также оценки потенциальных вулканических опасностей, возникающих при извержении. На вулкане и в его окрестностях устанавливаются такие приборы, как сейсмометры, приемники системы глобального позиционирования (GPS), наклонометры, магнитометры, газовые датчики, камеры и/или связанные с ними приборы, для оценки вулканической активности, выявления вулканических волнений и оценки потенциала вулканического извержения. В некоторых случаях дистанционное зондирование с использованием спутников является весьма эффективным средством мониторинга изменений во времени в тепловых, топографических и геологических характеристиках вулканов.

моногенный вулкан {monogenetic volcano}. Вулкан, образовавшийся в результате одного или многочисленных извержений за период от нескольких месяцев до нескольких столетий. После этого периода активности моногенный вулкан больше не извергается. Большинство вулканов с шлаковыми конусами считаются моногенными. См. также «вулканическое поле».

облако извержения (эруптивная туча) {eruption cloud}. Облако тefры и газов, которое образуется над жерлом (выводным каналом) вулкана в процессе эксплозивных вулканических извержений. Вертикальный столб тefры и газов, образующийся в процессе большинства видов эксплозивной вулканической активности, называется эруптивной колонной (колонной извержения) или мощным шлейфом (плюмом) и включает область с преобладанием импульса и область с преобладанием плавучести. Облака извержения могут быстро распространяться в латеральном направлении под действием силы тяжести, в особенности при наиболее мощных извержениях, и могут переноситься ветром на тысячи километров. За несколько дней крупные облака извержения могут опоясывать земной шар.

обломок, класт (вулканический) {clast (volcanic)}. Отдельный твердый вулканический фрагмент или вулканическое зерно, образовавшиеся в результате механического разрушения магмы или дробления пород вулканического канала или вмещающей породы, окружающей магматический резервуар, вследствие эруптивных процессов.

обломочная лавина {debris avalanche}. Большая масса обломков породы, образовавшихся в результате разрушения вулканической постройки вследствие частичного или полного обрушения, которая с большой скоростью (200 км/ч) скользит и/или стекает вниз по склону под действием силы тяжести. Обломочные лавины часто экскавируют значительную часть гидротермально измененных структурных элементов вулканической постройки. Обломочные лавины представляют собой смесь с составом от мелких фрагментов миллиметрового размера до крупных блоков размером в сотни метров, движущихся как целостные объекты, которые деформируются в потоке и в конечном итоге фрагментируются до более мелких фракций. Они могут содержать значительное количество воды или смешиваться с приточными водоемами, превращаясь в более подвижные грязевые потоки. Обрушение постройки может привести к значительной эксплозивной разгерметизации малоглубинной магмо-гидротермальной системы. См. также «взрыв».

образуемые вулканом обломки (вулканические обломки) {volcano generated missile}. Пирокластические фракции, часто большого размера, которые в результате эксплозивной активности в жерле с силой выбрасываются из вулканического канала и, двигаясь по крутой траектории к поверхности, падают вниз под действием силы тяжести. Любые материалы, такие как фрагменты породы, деревья и обломки строений, которые быстро переносятся движущимися потоками со значительным моментом количества движения и которые могут ударять по конструкциям и сооружениям, причиняя им существенный ущерб, даже за пределами основного потока.

огненный фонтан {fire fountain}. Слабовзрывное извержение газа и магмы под давлением, имеющее достаточную силу для выталкивания фрагментов магмы на сотни метров над жерлом. Извержения в виде огненных фонтанов часто служат источником лавовых потоков и характерны для базальтовых извержений гавайского типа.

пемза {pumice}. Пирокластическая порода светлого цвета, чрезвычайно пузырчатая (обычно 60–80% объемной доли пустоты) пирокластическая порода, образующаяся при эксплозивных извержениях и обладающая плавучестью в воде. Пемза часто образуется из риолитовой или дацитовой магмы, а иногда и из андезитовой магмы. Она напоминает затвердевшую пену, поскольку

состоит из сети пузырьков газа, «застывших» среди хрупкого вулканического стекла и минералов. Во время эксплозивного извержения вулкана растворенные в жидкой части магмы вулканические газы быстро расширяются, образуя пену. В случае с пемзой жидкая часть пены быстро затвердевает до состояния стекла, захватывая газовые пузырьки.

пепел {ash}. Фрагмент вулканической породы со средним диаметром менее 2 мм, образовавшийся в результате различных процессов эруптивной фрагментации. Безусловно, наиболее распространенной разновидностью является стекловидный пепел (стекловатые частицы, образованные пузырьками газа, прорывающимися через жидкую магму). См. также «тефра», «пирокласт».

период покоя {repose interval}. Время между последовательными вулканическими извержениями данного вулкана. В идеале период покоя — это время, прошедшее от окончания одного извержения вулкана до начала следующего. Однако продолжительность извержения редко удается определить. Следовательно, период покоя является наилучшей оценкой времени, прошедшего от одного извержения до следующего.

пирокласт {pyroclast}. Фракция любого размера или состава, образующаяся в результате извержения вулкана, как правило, при эксплозивных извержениях.

пирокластическая волна (пирокластический наплыв) {pyroclastic surge}. Тип пирокластического потока, который относительно разжижен, имеет высокую скорость и более турбулентен, чем большинство пирокластических потоков. Пирокластические волны могут образовываться от обрушения куполов и эруптивных колонн, а также могут отделяться и удаляться от более плотного пирокластического потока. Пирокластические волны менее ограничены топографическими градиентами, чем большинство пирокластических потоков.

пирокластический поток {pyroclastic flow}. Стелющийся по земле концентрированный поток пирокластов и горячего газа. Эти горячие потоки обычно образуются в результате обрушения эруптивной колонны или купола и быстро стекают вниз по склону. Пирокластические потоки могут переносить крупные обломки

(вулканические блоки, бомбы) и, как правило, движутся согласно топографическим градиентам. Температура в пирокластическом потоке часто превышает 500°С. Скорости зависят от того, как и где возникает поток, а также от склонов, по которым он движется, но обычно они превышают 50 км/ч, а иногда и 100 км/ч.

пирокластическое плотностное течение (пирокластический плотный поток) {pyroclastic density current}. Общий термин для смеси вулканического газа, пирокластов и горных пород, которая стекает по земле в результате извержения вулкана (т. е. пирокластических потоков, волн и взрывов).

плинианское извержение {plinian eruption}. Эксплозивное пирокластическое извержение, характеризующееся устойчивой эруптивной колонной, которая обычно поднимается на высоту 10–50 км. Плинианские извержения могут приводить к выпадению толстого слоя тефры на площади 500–5000 км² и/или образованию пирокластических потоков и волн, которые распространяются на десятки километров от вулкана. Извержение вулкана Пинатубо (Филиппины) в 1991 году является примером недавнего плинианского извержения.

плиоцен {Pliocene}. Плиоцен — это геологическая эпоха, охватывающая временной интервал от 5,3 до 2,6 млн лет назад.

полигенный вулкан {polygenetic volcano}. Вулкан, образованный многочисленными извержениями, некоторые из которых прерывались длительными периодами покоя. Поскольку многие полигенные вулканы могут оставаться активными в течение 10 000–1 000 000 лет и иметь длительные периоды покоя, отличить потухшее состояние от отсутствия проявлений активности у четвертичного полигенного вулкана может быть очень трудно. Большинство сложных вулканов являются полигенными.

потенциально активный вулкан или потенциально активное вулканическое поле {sparable volcano or volcanic field}. Потенциально активный вулкан или потенциально активное вулканическое поле определяется в настоящем Руководстве по безопасности как объект, который с достоверной вероятностью может проявить активность в будущем и стать источником опасных явлений, включая незруптивные явления, на протяжении всего жизненного цикла данной ядерной

установки и который потенциально может воздействовать на площадку. Как указано в разделах 3 и 5, иерархическими критериями, используемыми при определении потенциальной активности вулкана или вулканического поля, являются: i) свидетельства современной вулканической активности или активных околоповерхностных процессов, связанных с магматизмом любого вулкана в данном географическом регионе; ii) голоценовая вулканическая активность любого вулкана в пределах данного географического региона; iii) некоторые свидетельства потенциала возникновения активности, такие как повторяемость вулканических явлений свыше 10^{-7} в год и потенциал продуцирования опасных явлений, которые могут воздействовать на район расположения площадки.

поток обломочного материала {debris flow}. Плотная, шламообразная смесь обломков породы и воды, быстро движущаяся вниз по склону вулкана под действием силы тяжести и образующаяся в результате различных процессов, часто с достаточно большой энергией, чтобы сметать на пути потока строения и деревья. Они могут образоваться из водонасыщенных оползневых блоков, или когда вода, появившаяся в результате обильного дождя, быстрого таяния снега или выхода из кратерного озера, или вода, вытесненная из постройки, ремобилизует богатые пеплом вулканические отложения. Ремобилизация обломочного материала под воздействием сильных дождей может происходить спустя годы после извержения. Потоки обломочного материала характеризуются значительной текучестью и, как правило, содержат более 60% отложений от общего объема. См. также «гиперконцентрированный поток» и «лахар».

риолит {rhyolite}. Тип светлой вулканической породы, которая часто образует стекловатые купола или пирокластические отложения. В составе риолита содержится более 68% SiO_2 по массе, что придает ему высокую вязкость и удерживает газы в магме. Таким образом, извержения риолита часто имеют взрывной характер и формируют пирокластические отложения, хотя могут встречаться лавы и купола. Риолит обычно извергается при температурах 700–850°C. Обсидиан является вулканическим стеклом риолитового состава.

сложный вулкан {composite volcano}. Большой вулкан, также называемый стратовулканом, как правило, имеющий диаметр более одного километра у основания и высоту свыше нескольких сотен метров, образовавшийся главным образом в результате извержения тефры и

лавы из центрального жерла. История некоторых сложных вулканов может включать обрушение вершины с формированием кальдеры или сползание всего фланга вулкана с образованием большой обломочной лавины. Эпизоды извержений, за которыми следуют годы или столетия (и даже более длительные периоды) отсутствия проявлений активности, могут повторяться у сложных вулканов на протяжении сотен тысяч лет. Примерами сложных вулканов являются вулканы Везувий (Италия) и Сент-Хеленс (Соединенные Штаты Америки).

стромболианское извержение {strombolian eruption}. Тип вулканического извержения, который является промежуточным по взрывоопасности между огненным фонтаном и плинианскими извержениями. Магма менее фрагментирована, чем при плинианском извержении, и газ часто выбрасывается в виде слипшихся комков, а не непрерывной струей. Стромболианские извержения, как правило, являются дискретными событиями с интервалами относительного покоя продолжительностью от нескольких секунд до нескольких часов. Стромболианские извержения, обычно имеющие состав продуктов извержения от базальта до андезита, образуют слабые эруптивные колонны, высота которых редко превышает 5 км, а объем лавовых потоков обычно равен объему пирокластических пород или превышает его. Такие извержения характерны для вулкана Стромболи (Италия) и вулкана Исалько (Сальвадор).

термокарст {thermokarst}. Процесс формирования сложной и неоднородной земной поверхности в результате таяния вечной мерзлоты и последующего движения грунтов.

тефра {tephra}. Тип пирокластического материала, извергаемого вулканом, независимо от размера, формы, состава или механизма образования; этот термин, однако, чаще всего употребляется для обозначения пирокластов, которые падают, а не текут.

фреатическое извержение (фреатический взрыв) {phreatic eruption}. Извержение, вызванное быстрым объемным расширением воды или ее испарением в подповерхностном слое земной коры, без выброса магмы на поверхность. Фреатические извержения обычно представляют собой паровые взрывы, возникающие при резком падении давления, под которым находится горячая вода, но иногда могут представлять собой неэксплозивные выбросы водной массы из находящегося под давлением или разогретого водоносного пласта

и/или гидротермальных флюидов вулкана. Фреатические извержения распространены там, где поднимающаяся магма взаимодействует с подземными водами, обычно внутри вулканической постройки. Хотя фреатические извержения обычно невелики по масштабу, за ними могут следовать более масштабные фреатомагматические извержения или магматические извержения. Фреатические извержения могут порождать каменные потоки и горячие лахары. См. также «фреатомагматическое извержение», «поток обломочного материала» и «лахар».

фреатомагматическое извержение {phreatomagmatic eruption}.

Тип эксплозивного извержения, при котором происходит подповерхностное взаимодействие магмы и воды и возникают эксплозивные смеси породы, пара и магмы, которые часто образуют пирокластические потоки и волны. Сурцеянские и фреатоплинианские извержения — это фреатомагматические извержения, связанные с взаимодействием горячих пирокластов и воды, когда магма извергается из вулканического канала в водоем. См. также «извержение» и «фреатическое извержение».

фумарола {fumarole}. Трещина или небольшое отверстие (как правило, диаметром, составляющим сантиметры), из которых при повышенной температуре выделяются вулканические газы или водяной пар. Температура фумарол варьируется от значений чуть выше температуры окружающей среды до магматических температур. Фумаролу, испускающую сернистые газы (SO_2 , H_2S) называют сольфатарой. Мофетта означает фумаролу, которая выделяет в основном CO_2 при температурах ниже точки кипения воды.

шлаки (вулканические) {scoria}. Темная, везикулярная пирокластическая порода, образующаяся при извержениях пород от базальтов до андезитов. В отличие от пемзы шлаки тонут в воде. Шлаки образуют шлаковые конусы и могут возникать при извержении огненных фонтанов. См. также «огненный фонтан».

шлаковый конус {cinder cone}. Шлаковый конус представляет собой небольшой конический вулкан, как правило, имеющий диаметр менее одного километра и высоту не более нескольких сотен метров, который формируется скоплением фрагментов лавы в виде шлака и вулканических бомб вокруг жерла, выпавших после взрыва умеренной силы. Часто они оказываются окруженными потоками лавы из

одного и того же жерла. Шлаковые конусы обычно быстро растут и вскоре достигают своего максимального размера. Они располагаются группами, часто на флангах крупных составных вулканов и щитовых вулканов. Примерами шлаковых конусов являются вулканы Парикутин (Мексика) и Серро-Негро (Никарагуа).

шлейфы спутных пирокластических потоков {co-pyroclastic-flow plumes}. Любой плавучий пепельный шлейф (плюм), образовавшийся в результате элютриации над пирокластическими потоками, независимо от того, как первоначально сформировался пирокластический поток. Шлейфы спутных пирокластических потоков (плюмов) могут отделяться от нижележащего пирокластического потока и перемещаться над холмам в соседние долины, создавая отдельную опасность в дополнение к основному пирокластическому потоку. Тип вулканического извержения влияет на объемы образующихся масс пепла и конденсированных летучих веществ, их дисперсию, концентрацию частиц и газов в шлейфе, соотношение частиц и газов и время переноса пепла в шлейфе (плюме).

щитовой вулкан {shield volcano}. Вулкан, образовавшийся в результате извержений гавайского типа, которые имеют тенденцию формировать широкий конус с пологим углом, например вулкан Килауэа (США), который в профиль напоминает щит древнего воина.

эксплозивное (взрывное) извержение {explosive eruption}. Вулканическое извержение, при котором расширение пузырьков газа или explosive взаимодействие магмы и воды происходит достаточно быстро, чтобы разорвать магму на части (т. е. фрагментировать магму). Explosive извержения также происходят, когда находящиеся под давлением гидротермальные газы и перегретые жидкости внезапно разрушают вмещающую породу в вулканической постройке. Для explosive извержений характерны пирокластические потоки, обвалы и образуемые вулканом обломки. См. также «фреатическое извержение».

экструзивный поток {extrusive flow}. Неexplosive (т. е. непирокластическое) извержение магмы из вулканического канала, образующее лавовые потоки и купола.

элютриация {elutriation}. Процесс отделения более мелких частиц вулканического пепла от более крупных фракций под действием потока газов, воздуха или воды, в результате которого более легкие фракции поднимаются вверх, а более тяжелые — опускаются вниз.

эруптивная трещина {eruptive fissure}. Линейный разрыв на земной поверхности, через который происходит извержение лавы, пирокластов и газов.

эффузивное извержение {effusive eruption}. Вулканическое извержение, при котором когерентная магма выдавливается из выходного канала с образованием потоков лавы. См. также «эксплозивное извержение» и «экструзивный поток».

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Aspinall, W.P.	Aspinall & Associates, Соединенное Королевство
Chigama, A.	Международное агентство по атомной энергии
Coman, O.	Международное агентство по атомной энергии
Connor, C.B.	Университет Южной Флориды, Соединенные Штаты Америки
Godoy, A.	Международное агентство по атомной энергии
Hill, B.E.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки
Jaupart, C.	Institut de Physique du Globe de Paris, Франция
Komorowski, J.C.	Institut de Physique du Globe de Paris, Франция
Nakada, S.	Токийский университет, Япония
Newhall, C.	Сингапурская земная обсерватория, Сингапур
Pasquaré, G.	Миланский университет, Италия
Sparks, R.S.J.	Бристольский университет, Соединенное Королевство
Uchiyama, Y.	Организация по безопасности ядерной энергетики Японии, Япония

ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Звездочкой отмечены члены-корреспонденты. Членам-корреспондентам направляются проекты документов для замечаний, а также другая документация, но они, как правило, не принимают участия в работе совещаний. Двумя звездочками отмечены заместители.

Комиссия по нормам безопасности

Аргентина: González, A.J.; Австралия: Larsson, С.-М.; Бельгия: Samain, J.-P.; Бразилия: Salati de Almeida, I.P.; Германия: Vorwerk, A.; Израиль: Markovits, M.; Индия: Vajaj, S.S.; Испания: Gurguí Ferrer, A.; Канада: Jammal, R.; Китай: Jun Yu; Корея, Республика: Yun, С.-Н.; Литва: Demcenko, M.; Малайзия: Raja Adnan, R.; Марокко: Soufi, I.; Объединенные Арабские Эмираты: Travers, W.; Пакистан: Habib, M.A.; Российская Федерация: Беззубцев, В.С.; Соединенное Королевство: Weightman, M.; Соединенные Штаты Америки: Weber, M.; Финляндия: Reiman, L.; Франция: Lacoste, A.-С.; Чешская Республика: Drábová, D. (председатель); Швеция: Lund, I.; Южная Африка: Phillips, С.О.; Япония: Nakamura, K.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Yoshimura, U.; Европейская комиссия: Faross, P.; Консультативная группа по вопросам физической ядерной безопасности: Raja Adnan, A.; МАГАТЭ: Delattre, D. (координатор); Международная группа по ядерной безопасности: Meserve, R.; Международная комиссия по радиологической защите: Cousins, С.; председатели Комитета по нормам безопасности: Feron, F. (НУССК); Massera, G. (РАССК); Brach, E.W. (ТРАССК); Williams, G. (ВАССК).

Комитет по нормам ядерной безопасности

*Австралия: Ward, J.; Австрия: Sholly, S.; *Алжир: Merrouche, D.; Аргентина: Waldman, R.; Бельгия: De Воеск, В.; *Болгария: Влахов, Н.; Бразилия: Gromann, A.; Венгрия: Adorján, F.; Германия: Weidenbrück, K.; *Греция: Nikolaou, G.; Египет: Ibrahim, M.; Израиль: Harari, R.; Индия: Vaze, K.; *Индонезия: Antariksawan, A.; Иран, Исламская Республика: Mataji Kojouri, N.; Испания: Zarzuela, J.; Италия: Matteocci, L.; Канада: Rzentkowski, G.; *Кипр: Demetriades, P.; Китай: Li, Jingxi; Корея, Республика: Lee, S.; Ливия: Abulagassem, O.; Литва: Slepavicius, S.; Малайзия: Azlina Mohammed Jais; Марокко: Soufi, I.; Мексика: Carrera, A.; Объединенные Арабские Эмираты: Grant, I.; Пакистан: Mansoor, F.; Панама: Gibbs, E.;*

Польша: Kielbasa, W.; *Российская Федерация*: Строганов, А.; *Румыния*: Ciurea-Ercau, С.; *Словакия*: Uhrík, P.; *Словения*: Vojnović, D.; *Соединенное Королевство*: Hart, A.; *Соединенные Штаты Америки*: Case, M.; **Таиланд*: Siripitrom, L.; **Турция*: Kilinc, B.; *Украина*: Громов, Г.; *Финляндия*: Järvinen, M.-L.; *Франция*: Feron, F. (председатель); *Хорватия*: Medaković, S.; *Чешская Республика*: Vesely, J.; *Швейцария*: Flury, P.; *Швеция*: Hallman, A.; *Япония*: Маки, S.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Reig, J.; *Всемирная ядерная ассоциация*: Fröhmel, T.; *Европейская комиссия*: Vigne, S.; *МАГАТЭ*: Svab, M. (координатор); *Международная организация по стандартизации*: Sevestre, B.; *Международная электротехническая комиссия*: Bouard, J.-P.; *ЭНИСС*: Bassing, G.

Комитет по нормам радиационной безопасности

Австралия: Topfer, H.; **Австрия*: Karg, V.; **Алжир*: Chelbani, S.; *Аргентина*: Massera, G. (председатель), **Gregory, B.; *Бельгия*: van Bladel, L.; **Болгария*: Katzarska, L.; *Бразилия*: Da Hora Marechal, M.H.; *Венгрия*: Koblinger, L.; *Германия*: Helming, M.; **Греция*: Kamenopoulou, V.; *Дания*: Øhlenschläger, M.; *Египет*: Hamed Osman, A.; *Израиль*: Koch, J.; *Индия*: Sharma, D.N.; **Индонезия*: Rusdian, Y.; *Иран, Исламская Республика*: Kardan, M.R.; *Ирландия*: Pollard, D.; *Испания*: Álvarez, С.; *Италия*: Bologna, L.; *Канада*: Thompson, P.; **Кипр*: Demetriades, P.; *Китай*: Yang, H.; *Корея, Республика*: Rho, S.; *Ливия*: El-Fawaris, B.; *Литва*: Mastauskas, A.; *Малайзия*: Mishar, M.; *Мексика*: Delgado Guardado, J.; *Нидерланды*: Vermeulen, T.; *Новая Зеландия*: Cotterill, A.; *Норвегия*: Saxebol, G.; *Объединенные Арабские Эмираты*: Loy, J.; *Пакистан*: Nasim, B.; *Панама*: Gibbs, E.; *Перу*: Ramirez Quijada, R.; *Польша*: Merta, A.; *Российская Федерация*: Михенко, С.; *Румыния*: Preoteasa, A.; *Словакия*: Jurina, V.; *Словения*: Sutej, T.; *Соединенное Королевство*: Temple, С.; *Соединенные Штаты Америки*: McDermott, B.; **Таиланд*: Suntarapai, P.; **Турция*: Celik, P.; *Украина*: Павленко, Т.; *Финляндия*: Markkanen, M.; *Франция*: Godet, J.-L.; *Хорватия*: Kralik, I.; *Чешская Республика*: Petrova, K.; *Швейцария*: Leupin, A.; *Швеция*: Hägg, A.; *Южная Африка*: Tselane, T.J.; *Япония*: Nagata, M.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Lazo, T.E.; *Всемирная организация здравоохранения*: Peres, M.; *Всемирная ядерная ассоциация*: Saint-Pierre, S.; *Европейская инициатива в области норм безопасности для ядерных установок*: Lorenz, B.; *Европейская комиссия*: Janssens, A.; *МАГАТЭ*: Colgan, P.A. (координатор); *Международная ассоциация по радиационной защите*: Kase, K.; *Международная ассоциация поставщиков и производителей источников*: Fasten, W.; *Международная комиссия по радиологической защите*: Clement, С.; *Международная*

организация по стандартизации: Rannou, A.; Международное бюро труда: Niu, S.; Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации: Crick, M.; Панамериканская организация здравоохранения: Jiménez, P.; Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций: Вугон, D.

Комитет по нормам безопасности перевозки

*Австралия: Sarkar, S.; Австрия: Kirchnawy, F.; Алжир: Herrati, A.; Аргентина: López Vietri, J.; Бельгия: Lourtie, G.; *Болгария: Бакалова, А.; Бразилия: Xavier, A.M.; Венгрия: Sáfár, J.; Германия: Richartz, M., **Nitsche, F.; *Греция: Vogiatzi, S.; Египет: Nada, A.; Индия: Singh, K.; *Индонезия: Sinaga, D.; Иран, Исламская Республика: Eshraghi, A.; Ирландия: Duffy, J.; Испания: Zamora, F.; Италия: Trivelloni, S.; Канада: Faille, S.; *Кипр: Demetriades, P.; Китай: Xiaoqing, Li; Корея, Республика: Cho, D.; Литва: Statkus, V.; Малайзия: Mohd Sobari, M.P.; *Марокко: Allach, A.; **Hussain, Z.A.; Мексика: Bautista Arteaga, D.M.; **Delgado Guardado, J.L.; Нидерланды: Ter Morshuizen, M.; *Новая Зеландия: Ardouin, C.; Норвегия: Hornkjøl, S.; Пакистан: Muneer, M.; Панама: Francis, D.; *Польша: Dziubiak, T.; Российская Федерация: Бучельников, А., **Ершов, В., **Аникин, А.; Соединенное Королевство: Sallit, G.; Соединенные Штаты Америки: Boyle, R.W.; **Brach, E.W. (председатель); **Weaver, D.; *Таиланд: Jerachanchai, S.; *Турция: Türkes Yılmaz, S.; Украина: Кутузова, Т.; Финляндия: Lahkola, A.; Франция: Kueny, L., **Sert, G.; Хорватия: Ilijas, B.; Чешская Республика: Duchacek, V.; Швейцария: Koch, F.; Швеция: Zika, H.; Южная Африка: Mohajane, P., **Hinrichsen, P., **Mmutle, N.; Япония: Kojima, S.; Всемирная ядерная ассоциация: Gorlin, S.; Всемирный институт по ядерным перевозкам: Neau, H.J.; Всемирный почтовый союз: Bowers, D.G.; Европейская комиссия: Binet, J.; Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций: Kervella, O.; МАГАТЭ: Stewart, J.T. (координатор); Международная ассоциация воздушного транспорта: Brennan, D.; Международная ассоциация поставщиков и производителей источников: Miller, J.J.; Международная организация гражданской авиации: Rooney, K.; Международная организация по стандартизации: Malesys, P.*

Комитет по нормам безопасности отходов

*Австралия: Williams, G. (председатель); *Австрия: Fischer, H.; *Алжир: Ghezal, A.; Аргентина: Lee Gonzales, H.A.; Бельгия: Blommaert, W.; *Болгария: Алексиев, А.; Бразилия: De Souza Ferreira, R.; Венгрия: Molnár, B.; Германия: Götz, C.; *Греция: Mitrakos, D.; Дания: Hannesson, H.;*

Египет: Abdel-Geleel, M.; *Израиль*: Torgeman, S.; *Индия*: Rana, D.; **Индонезия*: Wisnubroto, D.; *Ирак*: Al-Janabi, M.; *Иран, Исламская Республика*: Sebteahmadi, S.; *Испания*: López de la Higuera, J.; *Италия*: Dionisi, M.; *Канада*: Howard, D.; *Кипр*: Demetriades, P.; *Китай*: Zhimin Qu; *Корея, Республика*: Park, W.-J.; *Ливия*: Gremida, K.; *Литва*: Paulikas, V.; *Малайзия*: Hassan, H.; **Марокко*: Bouanani, A.; *Мексика*: Aguirre Gómez, J.; *Нидерланды*: van der Shaaf, M.; **Новая Зеландия*: Cotterill, A.; *Норвегия*: Lystad, R.; *Пакистан*: Mannan, A.; *Панама*: Fernández, M.A.; *Польша*: Skrzeczkowska, M.; *Российская Федерация*: Поляков, Ю.; *Румыния*: Rodna, A.; *Словакия*: Homola, J.; *Словения*: Kroselj, V.; *Соединенное Королевство*: Chandler, S.; *Соединенные Штаты Америки*: Camper, L.; **Таиланд*: Supaokit, P.; **Турция*: Ünver, Ö.; *Украина*: Кондратьев, С.; *Финляндия*: Nutri, K.; *Франция*: Evrard, L.; *Хорватия*: Trifunovic, D.; *Чешская Республика*: Lietava, P.; *Швейцария*: Altorfer, F.; *Швеция*: Hedberg, B.; *Южная Африка*: Mosoeunyane, S.; *Япония*: Shiozaki, M.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Riotte, H.; *Всемирная ядерная ассоциация*: Saint-Pierre, S; *Европейская инициатива в области норм безопасности для ядерных установок — ФОРАТОМ*: Nocture, P.; *Европейская комиссия*: Necheva, C.; *МАГАТЭ*: Siraky, G. (координатор); *Международная ассоциация поставщиков и производителей источников*: Fasten, W.; *Международная организация по стандартизации*: James, M.



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 26

ЗАКАЗ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня.

СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Тел.: +1 800 462 6420 • Факс: +1 800 338 4550

Эл.почта: orders@rowman.com • Сайт: <http://www.rowman.com/bernan>

ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору или с вашим основным дистрибьютером:

Eurospan Group

Gray's Inn House
127 Clerkenwell Road
London EC1R 5DB
United Kingdom

Торговые заказы и справочная информация:

Тел: +44 (0) 1767604972 • Факс: +44 (0) 1767601640

Эл.почта: eurospan@turpin-distribution.com

Индивидуальные заказы:

www.eurospanbookstore.com/iaea

Дополнительная информация:

Тел: +44 (0) 2072400856 • Факс: +44 (0) 2073790609

Эл.почта: info@eurospangroup.com • Сайт: www.eurospangroup.com

Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)

Международное агентство по атомной энергии

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530 • Факс: +43 1 26007 22529

Эл.почта: sales.publications@iaea.org • Сайт: <https://www.iaea.org/ru/publikacii>

Обеспечение безопасности с помощью международных норм

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА**