



СОДЕРЖАНИЕ данного номера

РАДИОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ

Радиоактивное эхо "холодной войны"
Абель Х. Гонсалес

2

ПОСЕЩЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКА

Радиологическая оценка бывшего ядерного полигона
Петер Штегнар и Тони Риксон

12

ОБСЛЕДОВАНИЕ АТОЛЛА БИКИНИ

Радиологические условия на атолле Бикини и перспективы
повторного заселения
Петер Штегнар

15

В ГЛУБИНАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Международный проект по оценке состояния арктических морей: резюме
Кирсти-Лиза Шёблом и Гордон Линсли

18

ИССЛЕДОВАНИЕ НА АТОЛЛЕ МУРУРОА

Международное исследование радиационной обстановки на атоллах
Муруроа и Фангатауфа
Э. Гейл де Планк

21

КОЛЛЕКТИВНАЯ НАУЧНАЯ РАБОТА

Операции по отбору проб морской и наземной среды
на атоллах Муруроа и Фангатауфа
Пьер Роберто Данези и Павел Петер Повинек

24

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОСФЕРЕ

Радиоактивные остатки от подземных ядерных испытаний
Роберт Фрай, Дес Левинс и Эрнст Варнекке

30

ОТ АТОЛЛОВ В МОРЕ

Рассеяние остаточных радионуклидов в океане
Павел Петер Повинек и Эккехард Миттельштедт

34

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ДОЗЫ НА АТОЛЛАХ

Оценка доз облучения, обусловленных остаточным
радиоактивным материалом
Гордон Линсли и Эндрю Мак-Юан

38

"ГОРЯЧИЕ ЧАСТИЦЫ" И "ХОЛОДНАЯ ВОЙНА"

Исследование выпадений, обусловленных ядерными испытаниями
Пьер Роберто Данези

43

РУБРИКИ "БЮЛЛЕТЕНЯ МАГАТЭ"

Международные новости... В несколько строк... Файл данных... Вакансии...
Базы данных... Книжки... Совещания

47



РАДИОАКТИВНОЕ ЭХО "ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ": РАДИОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ

АБЕЛЬ Х. ГОНСАЛЕС

Одной из основных черт того исторического периода, который назван "холодной войной", были крупномасштабные производство и испытания ядерного оружия. Эта осуществлявшаяся в военных целях деятельность сопровождалась беспрецедентным образованием радиоактивных веществ. Часть этих "остатков холодной войны" попала в атмосферу и рассеялась по всему миру. Некоторое их количество сохранилось в относительно изолированном состоянии в подземных геологических средах на производственных площадках и полигонах. Другая часть стала источником загрязнения районов, в которых время от времени могут находиться люди.

Эту картину дополняют другие элементы наследия "холодной войны". Производство оружейных материалов привело к накоплению и хранению огромного количества радиоактивных отходов и побочных продуктов. Ожидается, что со временем их конвертируют в целях мирного использования или отправят на окончательное захоронение.

Кроме того, на каком-то этапе будут выведены из эксплуатации предприятия по производству военных ядерных материалов, ядерные полигоны и военные корабли с ядерными двигателями. Только на Кольском полуострове ожидает окончательного демонтажа сотня снятых с вооружения ядерных подводных лодок. В результате к уже накопленным остаточным радиоактивным материалам добавятся новые.

Казалось бы, "холодная война" ушла в прошлое, став еще одной

главой в истории. Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой ознаменовал окончание ядерных испытаний в открытых средах, а Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, возможно, приведет к полному прекращению испытаний ядерного оружия. Последуют новые соглашения, в результате которых будет ограничено и, можно надеяться, полностью запрещено производство оружейных материалов.

Это все хорошие новости. Однако радиоактивное наследие "холодной войны" сохраняется, и на долю нашего поколения выпало найти эффективное решение созданных им проблем.

За прошедшее десятилетие к МАГАТЭ неоднократно обращались с просьбой о повышении его роли в оказании помощи странам на пути решения проблем, связанных с этим наследием "холодной войны". Приглашенные МАГАТЭ эксперты осуществили ряд научных оценок радиологических ситуаций, созданных "холодной войной", — на ядерных полигонах, предприятиях по производству ядерных материалов и в местах захоронения отходов.

В данном выпуске "Бюллетеня МАГАТЭ" освещаются эти совместные мероприятия в контексте международных событий и проблем.

Фото: Проверка кокосовых орехов на радиоактивное загрязнение на атолле Мурура в ходе исследования, проведенного МАГАТЭ.

ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО НАСЛЕДИЯ "ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ"

На МАГАТЭ возложена уникальная ответственность в рамках системы ООН: оно является единственной организацией, специально уполномоченной своим Уставом устанавливать международные нормы по защите здоровья (от ионизирующей радиации) и обеспечивать их применение по просьбе того или иного государства.

Несколько лет назад МАГАТЭ совместно с пятью другими международными организациями установило новые международные нормы радиационной безопасности (см. "Бюллетень МАГАТЭ", т. 40, № 2, июнь 1998 г.). Они предназначены главным образом для контроля радиационного облучения в ходе мирной деятельности. Важно, однако, что их основополагающие принципы могут использоваться для ретроспективной оценки радиологических ситуаций, явившихся результатом нерегулируемой военной деятельности, такой как испытания ядерного оружия.

В последние годы ряд государств обращался к МАГАТЭ с просьбой на основе его международных норм радиационной безопасности провести оценку радио-

Г-н Гонсалес — директор Отдела радиационной безопасности и безопасности отходов МАГАТЭ.

логических ситуаций, явившихся следствием деятельности в эпоху “холодной войны”. Ставилась цель защитить здоровье населения и в конечном счете восстановить пораженные районы для использования человеком. Исследования, проведенные в соответствии с этими просьбами, и явились ответом Агентства на проблемы, связанные с радиологическими последствиями “холодной войны” (см. текст и диаграмму, стр. 4 и 5). Запросы о проведении оценок были получены от Казахстана (по Семипалатинскому полигону), от Маршалловых Островов (по Бикини) и позднее от Франции (по атоллам Муруроа и Фангатауфа во Французской Полинезии). В период “холодной войны” на этих площадках проводились “ядерные эксперименты”. Они включали испытательные взрывы ядерных оружейных устройств, действующих на основе принципов как деления, так и синтеза, а также проверочные испытания безопасности зарядов и проводились в открытой атмосфере и под землей (см. тексты на стр. 6, 8 и 9). Одна испытательная площадка представляла собой крупный континентальный полигон, три другие — атоллы (см. текст на стр. 7). Предметом еще одного исследования стало Карское море в Арктике, куда были сброшены большие количества остаточных радиоактивных материалов.

МАСШТАБЫ ПРОБЛЕМЫ

Какими бы скрупулезными ни казались эти исследования МАГАТЭ, они затронули лишь неполный и небольшой перечень радиологических последствий “холодной войны”.

С момента атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки в Японии до недавних испытаний, проведенных Индией и Пакистаном, мир стал свидетелем более 2400 экспериментов с ядерным оружием. Кроме того, для военных целей произведено огромное количество ядерных материалов.

Все эти виды деятельности стали источником громадных количеств радиоактивных остатков. Их уровни и действие являются предметом изучения Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), и о них регулярно докладывается Генеральной Ассамблее ООН.

ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

По данным НКДАР ООН, дополнительно к площадкам, исследованным МАГАТЭ, имеется ряд других районов, где проводились эксперименты по испытанию ядерного оружия и где могут оставаться радиоактивные материалы.

В их число входят площадки в Алжире (Регган и Ин-Эккер); в Австралии (Монте-Белло, Эму и Маралинга); в Китае (Лобнор); на Маршалловых островах (атолл Эниветок); в Российской Федерации (Новая Земля, Тоцк и Капустин Яр); США (Невада и Амчитка, Аляска); различные места в Тихом и Атлантическом океанах, включая острова Молден, Рождества и Джонстона, а также площадки в Индии и Пакистане, где недавно проводились испытания.

Полигон в Неваде был местом проведения 84 ядерных испытаний в атмосфере: 81 взрыв был произведен в течение 1951—1958 гг. и три последующих — в 1962 г. Более 900 подземных испытаний проведено в период между 1951 и 1992 гг., 32 из которых, как сообщалось, привели к выбросам радиоактивности в результате утечек. Самый крупный подземный испытательный взрыв в США произведен в 1971 г. в Амчитке, Аляска.

На Новой Земле, большом и отдаленном острове в Северном Ледовитом океане, проводилась широкая программа испытаний в атмосфере. Несколько испытательных взрывов проводилось на большой высоте, по крайней мере один — на поверх-

ности земли, два — на водной поверхности, три — под водой и несколько — под землей.

Испытания в Тихом океане на островах Молден и Рождества в 1957 и 1958 гг. представляли собой взрывы в воздухе над океаном или взрывы устройств, подвешенных на воздушных шарах над землей. Двенадцать испытаний, в основном на поверхности земли, также были проведены в 1952—1957 гг. на трех площадках в Австралии: острова Монте-Белло, Эму и Маралинга. Ряд проверочных испытаний безопасности зарядов проводились на площадках Эму и Маралинга, в результате на больших территориях произошло рассеяние плутония.

В Алжире ядерные испытания включали взрывы малой мощности на полигонах Регган и Ин-Эккер в Алжирской Сахаре в 1960—1961 гг.

Испытания на полигоне Лобнор в Западном Китае включали 22 взрыва в атмосфере, проведенных в период между 1964 и 1980 гг., в то время как подземные испытания продолжались вплоть до 1996 г. В Азиатском регионе ядерное устройство было также испытано в Индии в 1974 г., а в мае 1998 г. испытания были проведены Индией и Пакистаном.

Всего в НКДАР ООН поступили данные о 2408 ядерных экспериментах. Из них 541 был проведен в атмосфере и 1867 — под землей. Суммарная мощность* всех испытаний составила 530 мегатонн, из которых 440 мегатонн — атмосферных и 90 мегатонн — подземных испытаний. Мощность — это количество энергии, произведенной в резуль-

* Мощность обычно выражается в килотоннах или мегатоннах, при этом 1 килотонна эквивалентна взрыву 1000 т тринитротолуола (ТНТ), а 1 мегатонна — 1 млн. т ТНТ. Именно для того, чтобы избежать неопределенности, было достигнуто согласие, что 1 килотонна точно эквивалентна выходу 10^9 калорий энергии взрыва.

ОЦЕНКА НАСЛЕДИЯ "ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ": ДЕЙСТВИЯ МАГАТЭ

В течение прошедшего десятилетия страны обращались к МАГАТЭ с просьбой о помощи в оценке радиологических последствий прошлых ядерных испытаний и сброса радиоактивных веществ. Оценки включают:



Семипалатинск, Казахстан.

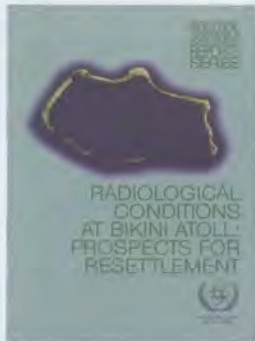
В 1993 г. правительство Казахстана информировало МАГАТЭ о своей обеспокоенности радиационной обстановкой в Семипалатинске, где с 1949 по 1989 г. проводились испытания ядерного оружия, и обратилось с просьбой о помощи. Была проведена предварительная радиологическая оценка Семипалатинского полигона (см. статью на стр. 12). На этом полигоне было проведено более 450 испытаний в атмосфере и под землей. Хотя результаты предварительного исследования МАГАТЭ позволили дать достаточную гарантию безопасности для постоянных жителей региона, было установлено наличие очень высоких уровней радиоактивности на больших участках территории самого полигона: в случае постоянного проживания людей в зоне полигона они получили бы дозу облучения до 140 мЗв в год. В этих результатах не учитывались потенциальные радиологические последствия подземных испытаний в Семипалатинске, оценка которых в ходе исследования МАГАТЭ не проводилась.



Муруроа и Фангатауфа, Французская Полинезия.

В августе 1995 г. Франция стала первым обладающим ядерным оружием государством, обратившимся к МАГАТЭ с просьбой о проведении оценки ядерного испытательного полигона, точнее — радиационных условий на атоллах Муруроа и Фангатауфа во Французской Полинезии. Франция провела на этих атоллах 193 ядерных эксперимента. В ответ на запрос Франции МАГАТЭ организовало проведение исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа, которому предстояло стать одной из самых крупных операций по проведению радиологической оценки, когда-либо осуществленных в рамках системы ООН (см. статьи на стр. 21, 24, 30, 34, 38). Исследование было недавно завершено, и его материалы опубликованы МАГАТЭ в восьми томах (см. текст на стр. 23).

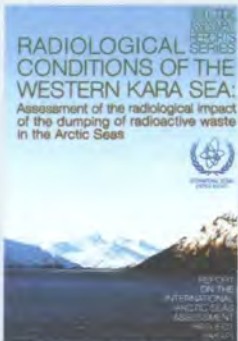
Результаты исследования обнадеживают: никогда прежде не имевшие постоянного населения атоллы могли бы быть безопасно заселены в будущем, поскольку самые высокие дозы радиации будут ниже пренебрежимо низкого уровня 0,25 мЗв в год при самых неблагоприятных гипотетических условиях проживания.



Атолл Бикини, Маршалловы острова.

В 1994 г. правительство Республики Маршалловы Острова (архипелаг в Тихом океане, состоящий из примерно 30 атоллов и нескольких островов-рифов) запросило помощь МАГАТЭ в виде проведения независимого международного обследования радиационных условий на атолле Бикини с целью рассмотрения и выработки рекомендаций по стратегическим подходам для повторного его заселения (со временем) прежними жителями. В этом месте проводилась обширная программа испытаний. Перед началом ее осуществления жители Бикини были эвакуированы далеко от своего постоянного места жительства на атолле Бикини — острова Бикини — и теперь с нетерпением ожидают возвращения на родину.

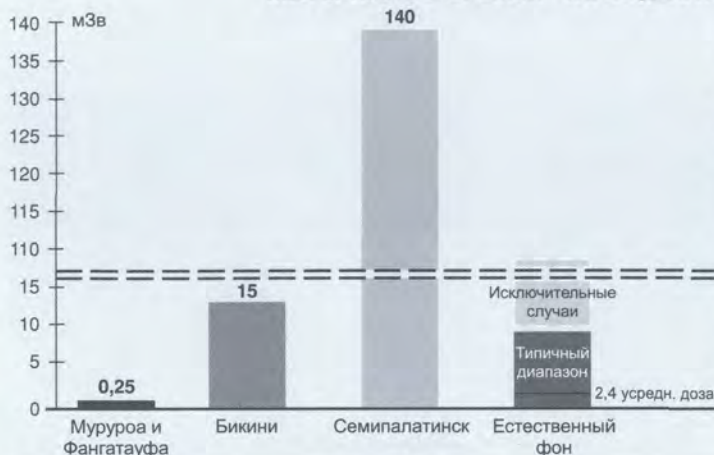
В недавно опубликованном исследовании МАГАТЭ делается вывод, что при современных радиационных условиях остров Бикини не следует повторно заселять в целях постоянного проживания, поскольку индивидуальные дозы облучения могли бы достигать 15 мЗв в год. Ряд сравнительно простых реабилитационных мер, таких как внесение в почву удобрений, мог бы легко привести к уменьшению уровня дозы. Согласно заключению исследования, в случае принятия этих мер остров Бикини мог бы быть безопасно повторно заселен (см. статью на стр. 15).



Арктические моря, Российская Федерация.

В 1993 г. администрация президента Российской Федерации сообщила об имевших место в прошлом сбросах Советским Союзом радиоактивных отходов в Карское море. Объем сброшенного радиоактивного материала, согласно проведенным впоследствии оценкам, был огромным: порядка 37 петабеккерелей. Заявление России вызвало большую озабоченность, в том числе среди участников Конвенции по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов, по которой МАГАТЭ имеет конкретные технические обязательства. В связи с этим был принят и недавно завершён международный проект по оценке ситуации (см. статью на стр. 18). Хотя количество сброшенного радиоактивного материала велико, полученные в ходе осуществления проекта данные не дают оснований для тревоги за здоровье и безопасность населения. В результате исследования было установлено, что в основном благодаря огромному потенциалу океанских вод по дисперсии и из-за удаленности Карского моря потенциальные дозы радиации для человека были бы ничтожными. Только военный персонал, патрулирующий заливы вблизи мест сброса, мог бы подвергаться облучению дозами выше уровня естественного фона.

МАКСИМАЛЬНЫЕ ГОДОВЫЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ОСТАТОЧНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВРЕМЕН "ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ"



На диаграмме показаны максимальные годовые дозы облучения, которые были бы индивидуально получены гипотетическими жителями исследованных МАГАТЭ площадок. Следует отметить, что прямое сравнение результатов этих исследований может привести к ошибочным выводам из-за различных характеристик испытаний и мест их проведения, а также вариаций в используемых при оценках гипотезах.

Для сравнения показаны также годовые дозы от естественного радиационного фона. Дозы выражены в миллизивертах, использование которых объяснено ниже.

Доза радиации — это энергия, поглощенная от излучения на единицу массы материи, которая для целей радиационной защиты взвешивается по двум факторам. Один фактор принимает во внимание эффективность данного типа излучения по воздействию на здоровье, другой учитывает разную чувствительность различных органов тела к действию излучения. Единица дозы выражается в джоулях на килограмм. Однако в качестве единицы взвешенной дозы используется зиверт (Зв). В данной диаграмме используется миллизиверт (мЗв), составляющий одну тысячную зиверта. Глобальная усредненная индивидуальная доза от естественного радиационного фона составляет 2,4 мЗв в год.

тате ядерного взрыва. Знание мощности и других характеристик испытательных взрывов позволяет ученым установить активность* и изотопный состав радиоактивных осадков, образуемых в результате испытаний.

Взрывы в атмосфере суммарной мощностью 440 мегатонн привели к выбросу в окружающую среду внушительного количества радиоактивности, измеряемого тысячами эксабеккерелей (см. таблицу на стр. 6). Радиоактивность рассеялась и осела в виде выпадений частично на месте и частично по всему миру (см. текст на стр. 9).

Радиоактивные остатки от 90 мегатонн, взорванных под землей, в основном заключены в геологических формациях, но в течение столетий они могут мигрировать по геосфере и в конечном

счете достичь окружающей человека среды (см. текст на стр. 8).

Радиологическое наследие ядерных испытаний отличается большим разнообразием, которое объясняется в основном различиями в остаточных радиоактивных материалах от проверочных испытаний безопасности зарядов, а также от локальных выпадений, обусловленных испытаниями в атмосфере. Кроме того, радиологические последствия включают потенциальную миграцию радиоактивных остатков и утечки из мест проведения подземных испытаний.

ПРОИЗВОДСТВО ОРУЖЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Производство ядерного оружия предусматривает получение необходимых количеств обога-

щенного урана или плутония для устройств деления, а также трития и дейтерия — для устройств синтеза. Топливный цикл для военных целей похож на цикл для мирных программ по производству ядерной электроэнергии: добыча и измельчение урановой руды, обогащение урана, изготовление топлива, эксплуатация реактора для производства ядерных материалов и переработка топлива, в основном для разделения плутония. Главное различие, однако, состоит в том, что мирные ядерные программы, как правило, находились под контролем и надзором независимых регулирующих органов, тогда как военные программы обычно такому контролю не подвергались.

Выброс радионуклидов происходил на различных стадиях цикла по производству материалов для ядерного оружия, но главным образом в процессе переработки топлива и разделения плутония.

В США предприятия по производству материалов для ядерного оружия расположены в Ферналде, Огайо (переработка материалов), Окридже, Теннесси

* Активность (или радиоактивность) радиоактивного вещества выражается в виде скорости ядерного преобразования радионуклидов, испускающих радиацию. Это — число преобразований, происходящих в данном материале за единицу времени. Единица активности представляет собой величину, обратную секунде, и называется беккерель (Бк). Поскольку 1 Бк выражает очень малую активность, используются следующие множители: 1000 Бк, или килобеккерель (кБк); 1 млн. Бк, или мегабеккерель (МБк); 1×10^9 Бк, или гигабеккерель (ГБк); 1×10^{12} Бк, или терабеккерель (ТБк); 1×10^{15} Бк, или петабеккерель (ПБк); 1×10^{18} Бк, или эксабеккерель (ЭБк). Для представления о величине беккереля следует отметить, что Codex Alimentarius рекомендует, чтобы радиоактивность пищевых продуктов не превышала порядка 1000 Бк цезия или 1 Бк плутония на килограмм пищевого продукта.

"ЯДЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ"

Ядерные эксперименты были двух видов: **ядерные испытания** и **проверочные испытания безопасности зарядов**.

■ **При ядерном испытании** ядерное устройство взрывается с выходом большого количества энергии. Взрыв вызывается делением ядер, ядерным синтезом либо комбинацией того и другого.

— **В устройстве деления** две подкритические массы расщепляющегося материала, такого как уран-235 и плутоний-239, сводятся вместе, образуя сверхкритическую массу. Тяжелое ядро расщепляется на две части (продукты деления), которые затем выделяют нейтроны, высвобождая энергию, эквивалентную разности между массой покоя первоначального ядра и массой покоя продуктов деления и нейтронов.

— **В устройстве синтеза** атомные ядра низкого атомного веса соединяются для образования более тяжелого ядра с высвобождением больших количеств энергии. Реакция становится самоподдерживающейся при очень высоких температурах, которые достигаются с помощью устройства деления, установленного внутри и окруженного легким водородным материалом, таким как дейтерий и дейтерий лития.

■ **При проверочном испытании безопасности зарядов** разной степени завершенности ядерные устройства подвергаются действию имитируемых аварийных условий. При этом центральная часть ядерного оружейного изделия разрушается под действием обычных взрывчатых веществ при нулевых или в некоторых случаях очень небольших выходах энергии деления. Если в результате ядерного испытания образуются радиоактивные продукты деления или синтеза, то радиоактивный остаток от проверочного испытания безопасности зарядов — это сам расщепляющийся материал.

Как ядерные испытания, так и проверочные испытания безопасности зарядов проводились в атмосфере и под землей.

В диаграммах и таблице представлены данные по ядерным испытаниям, проведенным с 1960 г. В таблице показана активность 19 радионуклидов, образованных, высвобожденных в атмосферу и глобально рассеянных в результате ядерных испытаний в атмосфере. Содержатся данные о нормализованном выбросе для устройств деления и синтеза и суммарной активности от проведенных в мире испытаний.



АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В АТМОСФЕРЕ

Радионуклид/полураспад		Расчетная активность (исключая локальные выпадения)			Радионуклид/полураспад		Расчетная активность (исключая локальные выпадения)		
		Нормализованный выброс (ПБк/Мт)		Суммарная активность всех испытаний (ЗБк)			Нормализованный выброс (ПБк/Мт)		Суммарная активность всех испытаний (ЗБк)
		Деление	Синтез				Деление	Синтез	
Тритий	12,32 года	0,026	740	240	Сурьма-125	2,73 года	3,38	—	0,524
Углерод-14	5730 лет	—	0,67	0,22	Йод-131	8,02 дня	4200	—	651
Марганец-54	312,5 дня	—	15,9	5,2	Цезий-137	30,14 года	5,89	—	0,912
Железо-55	2,74 года	—	6,1	2	Барий-140	12,75 дня	4730	—	732
Стронций-89	50,55 дня	590	—	91,4	Церий-141	32,50 дня	1640	—	254
Стронций-90	28,6 года	3,90	—	0.604	Церий-144	284,90 дня	191	—	29,6
Иттрий-91	58,51 дня	748	—	116	Плутоний-239	24 100 лет	—	—	0,00652
Цирконий-95	64,03 дня	922	—	143	Плутоний-240	6560 лет	—	—	0,00435
Рутений-103	39,25 дня	1540	—	238	Плутоний-241	14,40 года	—	—	0,142
Рутений-106	371,6 дня	76,4	—	11,8					

Примечание: Для простоты принято, что весь углерод-14 произведен в результате синтеза. **Источник:** НКДАР ООН.

11 млн. лет назад
Извержения вулканов ведут к образованию новых островов под поверхностью океана.



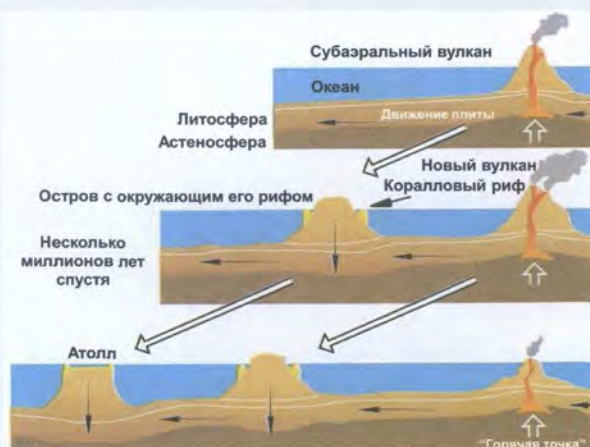
10 млн. лет назад
Вулканическая активность прекращается, и появляется растительность.



5 млн. лет назад
По мере медленного погружения острова по его краям образуются коралловые рифы.



Настоящее время
Остров превратился в атолл — узкую полосу кораллового рифа вокруг лагуны.



ЯДЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА АТОЛЛАХ

Многие ядерные эксперименты, оценкой которых занималось МАГАТЭ, проводились на *атолах* — коралловых рифах в форме кольца, окружающего лагуну. Риф представляет собой узкую полоску, которая лишь на несколько метров выступает над поверхностью океана. Во многих местах океанские воды промыли беспорядочно расположенные каналы, называемые “хоа”, и образовалась цепочка островков, называемых “моту”. Атоллы возникли благодаря вулканам, извержения которых в морских глубинах миллионы лет назад создали острова, с течением времени медленно погружавшиеся в море. Кольца рифов формировались отложениями мертвых кораллов вокруг острова по мере его погружения. Несмотря на вулканическое происхождение атоллов, опасности новых извержений нет, поскольку острова, которым атоллы обязаны своим существованием, погружаясь в море в результате дрейфа геотектонических плит Земли, удалялись от первоначальной вулканической “горячей точки”.

(обогащение, разделение, лаборатории), Роки-Флэтсе, Колорадо (изготовление оружейных компонентов), Хэнфорде, штат Вашингтон (производство плутония), и Саванна-Ривер, Южная Каролина (производство плутония). В Российской Федерации такие предприятия расположены в Челябинске, Красноярске и Томске. Площадки в Соединенном Королевстве включают Спрингфилд (переработка урана и изготовление топлива), Кейпенхерст (обогащение), Селлафилд (реакторы по производству ядерного топлива и переработка), Олдермастон (изготовление оружия) и Харуэлл (исследования). Реакторы по производству плутония работа-

ли в Селлафилде (два реактора с газовым охлаждением и графитовым замедлителем, известные под именем Уиндскейлских реакторов) и позднее в Колдер-Холле на Селлафилдской площадке и в Чапелкроссе в Шотландии. Известный пожар на одном из Уиндскейлских реакторов в 1957 г. привел к выбросу радионуклидов. Во Франции первый экспериментальный реактор EL1, или Zoé, достиг критичности в 1948 г., а пилотный завод по переработке начал функционировать в 1954 г. Второй экспериментальный реактор, EL2, был построен в центре Сакле. В течение 1956—1959 гг. в комплексе Маркуль на р. Рона началась эксплуата-

ция трех более крупных промышленных реакторов. Эти газографитовые реакторы работали, соответственно, до 1968, 1980 и 1984 гг. Перерабатывающий завод полного профиля был также построен и эксплуатировался на площадке Маркуль с 1958 г. Два других завода по переработке были построены на мысе Аг на севере Франции.

В Китае первый экспериментальный реактор был построен в Пекине, а завод по обогащению урана — в Ланьчжоу, провинция Ганьсу. Промышленный реактор введен в эксплуатацию в 1967 г., завод по переработке — в 1968 г. Производство и переработка плутония осуществлялись на комбинате

ПОДЗЕМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Подземные испытания ядерного оружия начались в 1951 г. Широкие программы подземных испытаний были осуществлены после 1963 г., когда по Договору о частичном запрещении испытаний были запрещены испытания в атмосфере. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, хотя еще и не ратифицированный всеми странами, может привести к действительному прекращению подземных испытаний ядерного оружия.

Общее количество подземных испытаний намного превысило число испытаний в атмосфере, хотя их суммарная мощность была гораздо меньше. Большинство подземных испытаний были небольшой мощности, особенно когда стремились добиться удержания ядерных осколков внутри очага взрыва. Загрязнение окружающей среды в краткосрочном плане могло происходить — и в ряде случаев происходило — только при утечках или диффузии газов после таких испытаний.

Несколько испытаний было проведено с одновременной детонацией ядерных зарядов, помещенных в одну и ту же или отдельные скважины или туннели. Эти так называемые «залповые» испытания проводились в целях повышения эффективности или экономии. Такая форма препятствовала также обнаружению взрывов с отдаленных сейсмических станций.

По данным НКДАР ООН, общее число всех подземных испытаний по всем странам составляет 1867. Не имеет

ся полных данных по отдельным взрывам, однако суммарная мощность оценивается в 90 мегатонн. Было бы желательно иметь более полные данные о тех испытаниях, где произошли утечки, с оценками количества радиоактивных материалов, рассеянных из-за этого в окружающей среде.

Подземные испытания обычно проводились в геологически пригодных формациях на глубине в несколько сот метров от поверхности земли, хотя в ряде случаев выбирались места, не отвечающие требуемым параметрам.

В результате каждого взрыва интенсивно выделяется теплота и образуется высокое давление:

В пределах десятков микросекунд ядерные реакции завершаются. Энергия излучений испаряет породу, создавая высокое давление и образуя интенсивную ударную волну.

В пределах сотен микросекунд ударная волна трансформирует окружающую породу, а высокая тем-

пература испаряет и плавит почву и другие материалы вокруг.

В пределах десятков миллисекунд полость стабилизируется, и расплавленная лава собирается на дне в форме линзы, называемой «мениском», захватывая большинство огнеупорных радионуклидов.

В пределах от минут до часов расплавленная порода отвердевает и крыша полости обрушивается, образуя, в грубом приближении, цилиндрическую полость. После охлаждения расплавленная почва затвердевает в стекловидную лаву. Наполненная обломками породы полость, в свою очередь, со временем наполняется водой, проникающей из окружающего грунта.

Основная часть остаточного радиоактивного материала, образованного подземными ядерными испытаниями, оказывается захваченной лавой. Однако некоторые радионуклиды осаждаются на обломках породы и доступны для обмена с водой в полости.

Спустя десятки микросекунд



Спустя сотни микросекунд



Спустя десятки миллисекунд



Спустя минуты — часы

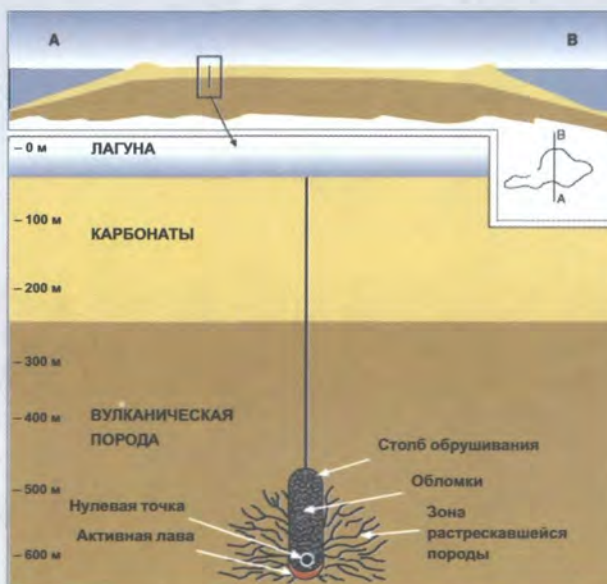
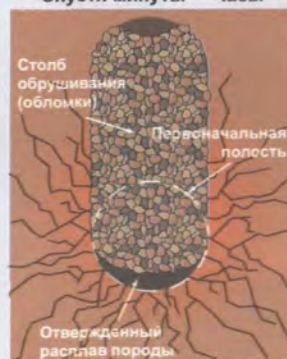


Рисунок: Подземное испытание на атолле.

ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ В АТМОСФЕРЕ

Атмосферные ядерные испытания проводились в различных местах на поверхности и над Землей. Для их проведения заряды монтировались на башнях, помещались на баржи в океане, подвешивались на воздушных шарах, сбрасывались с самолетов и отстреливались с ракет, запускавшихся на большую высоту.

Пик испытаний в атмосфере приходится на 1951—1958 и 1961—1962 гг. В 1959 г. был объявлен мораторий, который в основном соблюдался в 1960 г.

Наиболее значительными по суммарной мощности взрывов были 1962, 1961, 1958 и 1954 гг.

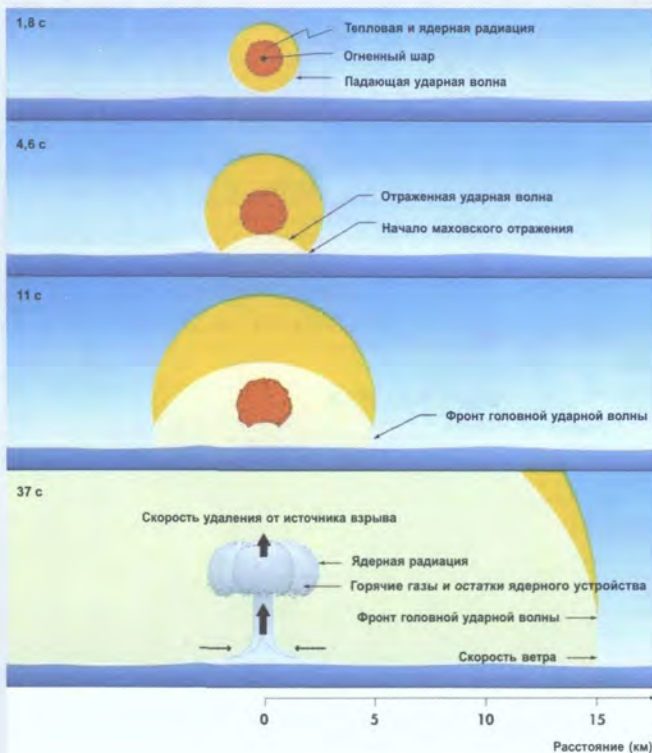
Общее число испытаний в атмосфере, проведенных всеми странами, составило 541 взрыв суммарной мощностью 440 мегатонн. На 25 атмосферных испытаний приходится почти 66% суммарной мощности взрывов всех испытаний.

В зависимости от высоты взрыва радиоактивные осадки попадали в локальную, региональную или глобальную среду. Они явились причиной получения человеком самых крупных на сегодня коллективных доз радиации от антропогенных источников излучений.

Радиоактивные осадки. Радиоактивные осадки от ядерных испытаний в атмосфере распределяются между локальной поверхностью суши или воды и тропосферными или стратосферными зонами атмосферы. Способ осаднения зависит от вида, места и мощности взрыва.

Часть радиоактивных остаточных материалов, осаждаемых локально на месте взрыва, называется *локальными* выпадениями. Остальная их часть широко рассеивается в атмосфере в качестве *тропосферных* и *стратосферных* выпадений.

Локальные выпадения от испытаний на поверхности могут составлять до 50% образуемых радио-



активных осадков и включают крупные радиоактивные аэрозольные частицы. Эти частицы осаждаются в пределах 100 км зоны взрыва. Обычно, когда детонация происходит на достаточно большой высоте, огненный шар, образуемый взрывом, не достигает уровня земли. Это уменьшает количество локальных выпадений (см. рисунок).

Тропосферные выпадения состоят из аэрозолей меньшего размера, которые

не переносятся через тропопазу после взрыва и осаждаются со средним временем выпадения до одного месяца. В это время осколки рассеиваются, однако лишь в незначительной степени смешиваясь с окружающей средой, по широтной полосе, в которую они были внесены взрывом, следуя траекториям в соответствии с розой ветров. С точки зрения опасности для облучения человека тропосферные выпадения важны, так как состоят из радионуклидов с периодом полураспада от нескольких дней до двух месяцев.

Стратосферные выпадения, составляющие большую часть общего количества выпадений, образуются из частиц, которые переносятся в стратосферу. Они в дальнейшем образуют глобальные выпадения, основная часть которых остается в том полушарии, куда они были внесены взрывом. Стратосферные выпадения формируют большинство мировых осадков долгоживущих продуктов деления.

В последние годы стали известны дополнительные подробности ядерных испытаний в атмосфере. В частности, упорядочены данные о количестве и мощности взрывов и проведены оценки в отношении радиоактивных остатков, осаждаемых из локальных выпадений.

Цзиньцюань, также в провинции Ганьсу, где проводилась сборка ядерного оружия. Производство и переработка велись также в Гуанюане, провинция Сычуань, где были построены более крупные установки.

В отдельных центрах по производству материалов для ядерного оружия начала осуществляться деятельность, относящаяся к программам использования ядерной энергии в мирных целях. В некоторых из них проводятся работы по демонтажу ядерного оружия.

Относительно высокий уровень выброса радиоактивных осадков в окружающую среду наблюдался в ранние годы эксплуатации некоторых из этих предприятий, где во что бы то ни стало стремились выполнить производственные планы и иногда ослаблялись меры контроля. Кроме того, произошел ряд аварий, в результате которых возрос общий объем выбросов, особенно на предприятиях бывшего СССР (см. текст на стр. 11).

Объем радиоактивных осадков от производства материалов для ядерного оружия в полной мере не известен. НКДАР ООН продолжает сбор и публикацию информации, предоставляемой государствами.

ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Последние события вселяют оптимизм относительно решения проблем, связанных с радиационными последствиями "холодной войны".

■ 22 сентября 1995 г. на Генеральной конференции МАГАТЭ был поднят вопрос о радиологических последствиях испытаний ядерного оружия. В имеющей принципиальное значение резолюции Генеральная конференция обратилась с призывом ко всем заинтересованным государствам "выполнить свои обязательства по обеспечению тщательного мониторинга площадок, где проводились ядерные испытания, и при-

нять надлежащие меры с целью избежать вредного воздействия на здоровье, безопасность и окружающую среду вследствие таких ядерных испытаний".

■ В сентябре 1998 г. Генеральная конференция МАГАТЭ, напоминая о своей резолюции 1995 г. и приветствуя обнадеживающие выводы исследования по атоллам Муруроа и Фангатауфа, подчеркнула, что эти выводы не должны использоваться для оправдания разработки и испытаний ядерного оружия, и поручила Генеральному директору МАГАТЭ представить доклад о развитии событий в этой области.

■ Генеральная конференция МАГАТЭ 1998 г., далее, настоятельно рекомендовала всем государствам стать участниками Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. В решении Конференции содержится также настойчивый призыв ко всем государствам, особенно к тем, которые обладают потенциалом для производства расщепляющихся материалов, поддержать переговоры по заключению договора о запрещении производства расщепляющихся материалов для ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств (ДРМ). Решение о начале переговоров по ДРМ было, наконец, принято Конференцией по разоружению.

■ Представители США и России на сессии Генеральной конференции МАГАТЭ 1998 г. пришли к соглашению относительно развертывания коммерческой деятельности в десяти российских "ядерных" городах. По этому соглашению США предоставят данным городам свой опыт частного предпринимательства и обеспечат взаимодействие компаний американского частного сектора с соответствующими российскими предприятиями с целью налаживания производства, маркетинга и сбыта коммерческих товаров. Подобный подход был испытан в аналогичных го-

родах США, таких как Хэнфорд и Окридж.

■ Недавно достигнуто соглашение между Норвегией и Россией о сотрудничестве в ряде областей, таких как изъятие из обращения отработавшего ядерного топлива из подводных лодок с ядерными двигателями; создание временного хранилища в заливе Андреева, Мурманск, Кольский п-ов; создание временных хранилищ радиоактивных остатков в Челябинске и на верфи в Северодвинске, Архангельская обл.; и демонтаж плавучего сооружения в Мурманске, где в настоящее время хранится более 600 опасных поврежденных элементов с отработавшим топливом от судов с ядерным двигателем.

МАГАТЭ продолжает работу в рамках этой нарождающейся глобальной структуры для помощи странам в поиске решений проблем, связанных с радиологическим наследием "холодной войны". Обнадеживает поддержка этих усилий МАГАТЭ со стороны неправительственных организаций по защите окружающей среды*.

На состоявшейся в 1998 г. Конференции по исследованию радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Баради, характеризуя роль Агентства, отметил, что, хотя ответственность за безопасность лежит прежде всего на правительствах, МАГАТЭ играет важнейшую роль, выполняя три дополняющие друг друга функции: "разработка юридически обязательных международных соглашений и техническое обслуживание их выполнения; создание всеобъемлющего свода

* На состоявшейся в 1998 г. Конференции МАГАТЭ по исследованию Муруроа представитель организации "Гринпис интернэшнл" заявил, что "данное исследование могло бы служить в качестве образца для аналогичных исследований бывших ядерных испытательных полигонов".

ПРОИЗВОДСТВО ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В БЫВШЕМ СССР

В бывшем СССР действовали три крупных центра по производству материалов для ядерного оружия.

■ Комбинат “Маяк” по производству ядерных материалов находится в Челябинской области между городами Кыштым и Касли вблизи восточного берега оз. Иртяш. Эксплуатация уран-графитовых реакторов по производству плутония и завода по переработке началась в 1948 г. В течение 1949—1956 гг. происходили относительно крупные выбросы радиоактивного материала в близлежащую р. Теча. Первоначально полностью отсутствовавший контроль за выбросами был введен в начале 60-х гг. За период 1949—1956 гг. более 100 ПБк продуктов деления и изотопов плутония было выпущено в виде стоков, в результате произошло заражение атмосферы и вод р. Теча. В апреле — мае 1951 г. в результате сильного разлива реки произошло заражение речной долины, которая использовалась для выпаса скота и сенокоса. В 1956 г. жители верховьев реки переселились в новые места проживания, и наиболее зараженная часть речной долины была закрыта. Однако для некоторых жителей заражение Течи остается серьезным источником облучения вплоть до настоящего времени.

29 сентября 1957 г. отказ в системе охлаждения одной из емкостей для хранения жидких радиоактивных отходов привел к химическому взрыву и массовому выбросу радионуклидов. Общая активность, рассеянная с места аварии по территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей, составила примерно 74 ПБк. Новое заражение остаточными радиоактивными веществами, связанное с работой комбината “Маяк”, произошло в 1967 г. при обмелении оз. Карачай, которое использовалось для удаления отходов, в результате чего зараженные радиоактивные отложения по его берегам вновь превратились в переносимые ветром взвеси.

норм безопасности, не носящих обязательного характера; и предоставление помощи в применении этих норм”.

Д-р эль-Баради подчеркнул, что роль МАГАТЭ в проведении радиологических оценок состоит в том, чтобы “быть объективным и давать научно обоснованные заключения”, и что Агентство по-прежнему готово откликаться на новые обращения за такого рода помощью.

Эпилог. В конце 1998 г. правительство Алжира направило в МАГАТЭ запрос об осуществлении проекта технического со-

трудничества с целью “количественной оценки радиоактивных загрязнений, вызванных ядерными взрывами [в Алжире], анализа их радиологического воздействия на местное население и разработки плана мониторинга бывших ядерных испытательных полигонов”. Запрос был представлен на рассмотрение Совета управляющих МАГАТЭ в декабре 1998 г., и на него был дан положительный ответ.

В то же время международное сообщество начинает больше узнавать о другом потенциальном радиологическом наследии “холодной войны”: мощных источниках

■ Красноярский комбинат по производству ядерных материалов расположен примерно в 40 км от Красноярска. Первый реактор с прямым циклом был пущен в 1958 г., второй — в 1961 г. и третий реактор с замкнутым циклом — в 1964 г. Радиохимический завод по переработке облученного топлива был введен в эксплуатацию в 1964 г. Удаляемые с Красноярского комбината радиоактивные отходы попадают в р. Енисей. Следы заражения можно обнаружить на всем протяжении реки от Красноярска до устья — около 2 тыс. км вниз по течению. В 1992 г. два из трех реакторов на Красноярском комбинате были остановлены. Благодаря этому значительно сократился объем радиоактивных сбросов в Енисей.

■ Томский комбинат размещен на правом берегу р. Томь в 15 км к северу от Томска. Он был пущен в 1953 г. и является самым крупным в Российской Федерации комбинатом по производству плутония, урана и трансурановых элементов. На Томском комбинате имеются уран-графитовые промышленные реакторы, установки по обогащению и изготовлению топлива и завод по переработке. Радионуклиды в жидких отходах сбрасываются в Томь, которая впадает в Обь. В 1990—1992 гг. три из реакторов комбината были остановлены, что значительно сократило объем радиоактивных сбросов в Томь.

6 апреля 1993 г. произошла авария на радиохимическом заводе, которая привела к выбросу радиоактивных материалов. Радиологические последствия аварии были оценены экспертами МАГАТЭ. Образовался узкий след слабого радиоактивного загрязнения длиной от 35 до 45 км в северо-восточном направлении. Единственным населенным пунктом в районе следа является деревня Георгиевка.

излучений, которые в свое время использовались для военных целей, а теперь оставлены без присмотра и контроля. Республика Грузия недавно обратилась к МАГАТЭ за помощью в связи с радиационной аварийной ситуацией. Были обнаружены два мощных радиационных источника, один был брошен на берегу реки, а другой со снятой защитой — в сельской местности вблизи пограничного города.

По сообщению грузинских властей, за последний год было обнаружено более 50 брошенных радиационных источников, имеющих, вероятно, военное происхождение.



ПОСЕЩЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКА

РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БЫВШЕГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА

ПЕТЕР ШТЕГНАР И ТОНИ РИКСОН

Различные районы мира испытывают воздействие остаточных радиоактивных материалов. Некоторые из них — результат прошлой мирной деятельности, другие остались от военных программ, включая испытания ядерного оружия.

В 90-х гг. происходит расширение международного сотрудничества по оценке радиологических последствий прошлой военной ядерной деятельности. Во многих странах стали уделять внимание оценке и там, где это необходимо, реабилитации районов, испытывавших воздействие остаточных радиоактивных материалов от военной деятельности. МАГАТЭ принадлежит ведущая роль в этих усилиях по оценке бывших испытательных полигонов. В данной статье сообщается о проведении предварительных радиологических оценок Семипалатинского полигона в Казахстане, где бывший Советский Союз за 40 лет провел более 400 ядерных испытаний.

ПОЛИГОН

Республика Казахстан расположена к югу от России и к западу от Китая. После окончания Второй мировой войны казахские степи стали первым центром испытаний ядерного оружия в



Советском Союзе. Семипалатинский полигон представляет собой зону площадью 19 тыс. км² на северо-востоке страны в 800 км к северу от Алматы. Зона находится к юго-западу от р. Иртыш, которая течет в Казахстан из Китая и на коротком расстоянии составляет часть границы полигона.

За период 1949—1989 гг. бывший Советский Союз провел на полигоне около 460 испытаний ядерного оружия. В их число входили взрывы на поверхности земли или в атмосфере. Пять взрывов на поверхности земли оказались неудачными и привели к рассеиванию плутония в окружающей среде. Начиная с 1961 г. более 300 испытательных взрывов было проведено под землей. При производстве 13 подземных взрывов произошли выбросы радиоактивных газов в атмосферу (см. таблицу на стр. 14).

Единственными обитателями этой территории во время осуществления программы испытаний были жители г. Курчатова, обслуживавшие полигон, и население небольших поселков Акжар и Молдари вдоль северной границы полигона. В последнее время в ограниченных масштабах происходило повторное заселение этой территории, главным образом фермерами и пастухами, ведущими полукочевой образ жизни. Большинство местного населения живет в поселках, непосредственно примыкающих к полигону. Число жителей там составляет 30—40 тыс. человек.

Фото: Озеро Телькем-2 в Казахстане; образовалось на месте кратера, созданного ядерным испытанием. Испытывались три ядерных устройства, каждое мощностью, эквивалентной 240 т ТНТ.

(IAEA mission/July 1994)

Г-н Штегнар — сотрудник Секции безопасности отходов; г-н Риксон — руководитель Секции радиационной безопасности, Отдел радиационной безопасности и безопасности отходов.

МИССИИ МАГАТЭ

В мае 1993 г. представители правительства Республики Казахстан информировали МАГАТЭ о своей обеспокоенности по поводу радиационной обстановки в Семипалатинске и западных районах страны. В связи с этим правительство Казахстана направило МАГАТЭ запрос о предоставлении помощи в отношении бывшего Семипалатинского полигона и западных районов. МАГАТЭ дало согласие на проведение исследования радиационной обстановки в данных районах. Это обязательство реализовалось в виде серии мероприятий по характеристике и оценке радиационной обстановки на Семипалатинском полигоне.

Ноябрь 1993 г. Первая группа экспертов МАГАТЭ была направлена в ноябре 1993 г. Цель командировки заключалась в ознакомлении с полигоном и выработке руководящих принципов для последующих действий. Группа имела поручение помочь в укреплении национальной инфраструктуры в области радиационной защиты с упором на мониторинг окружающей среды.

Группа посетила Семипалатинский полигон и выявила наиболее вероятные места радиоактивного загрязнения на его территории и за ее пределами. Ею были также проведены ограниченное число радиационных измерений и отбор проб окружающей среды в выявленных местах с целью содействовать в дальнейшем определению проблем и предоставить информацию для проведения мероприятий в будущем. Группа посетила также государственные лаборатории, чтобы определить их возможности для совместных действий и наличие данных радиологических оценок.

По результатам этой первой командировки в марте 1994 г. в штаб-квартире Агентства состоя-



лась встреча сотрудников МАГАТЭ с делегацией Казахстана. Одним из вопросов, обсуждавшихся на этом совещании, была обеспокоенность в связи с положением в Семипалатинске. В ответ на эту обеспокоенность МАГАТЭ согласилось в рамках своей программы технического сотрудничества осуществить проект по оказанию помощи Республике Казахстан в радиологической оценке Семипалатинского полигона.

Июль 1994 г. Вторая группа экспертов МАГАТЭ была направлена на полигон в июле 1994 г. с целью сбора дополнительных радиологических данных на территории полигона и за ее пределами, получения и рассмотрения существующих данных из российских и казахстанских источников, относящихся к радиологической ситуации на полигоне, а также проведения предварительной оценки нынешних и потенциальных будущих доз облучения постоянных жителей Семипалатинского района.

Главной задачей было определить наличие необходимости в проведении дальнейших радиологических исследований и оценок. Были отобраны и подвергнуты гамма-спектрометрическому и радиохимическому анализу пробы почвы, растительности и молока для определения концентрации

радионуклидов. Эксперты группы провели беседы с жителями окружающих полигон ферм и поселков с целью получения информации относительно местных традиций питания и обычаев, имеющих отношение к оценке дозы.

Июнь 1998 г. Третья группа была направлена в 1998 г. в соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН (52/169M). В ходе этой командировки группа экспертов занималась интенсивным изучением последствий двух поколений ядерных испытаний и потребностей территории, ставшей в 1991 г. частью Республики Казахстан. Группа была сформирована из специалистов организаций и учреждений системы ООН, включая МАГАТЭ, представителей правительства Казахстана и технических экспертов из других международных организаций и стран. Группа работала с 15 по 30 июня 1998 г., изучила гуманитарную ситуацию в Семипалатинском регионе Казахстана и провела оценку проблем, существующих на территории Семипалатинского полигона, как это предусмотрено в резолюции ООН.

Фото: Специалисты проводят гамма-спектрометрические измерения in situ в Семипалатинске в ходе работы миссии МАГАТЭ в июле 1994 г. (IAEA mission/July 1994)

РЕЗУЛЬТАТЫ МИССИЙ

Информация, собранная во время командировок, и последующие исследования дают достаточно оснований утверждать, что на большей части данной территории наблюдается очень малая остаточная радиоактивность, непосредственно связанная с ядерными испытаниями в Казахстане, или она вообще отсутствует. Есть несколько мест с повышенными уровнями остаточной радиоактивности в пределах полигона, где проходили испытания на поверхности и где произошли утечки в атмосферу в результате нескольких подземных испытаний. Предварительные обследования этих мест показали, что загрязнение носит относительно локализованный характер.

Из-за ограниченного объема данных обследований, собранных в ходе командировок, наличие остатков актинидов от неудачных ядерных испытаний не могло быть подтверждено. Прежде чем рассматривать вопрос о необходимости дальнейших исследований, потребуется получить описания характера неудачных испытаний, данные о преобладающих условиях их проведения и другую дополнительную информацию.

В настоящее время отсутствуют какие-либо ограничения доступа на испытательный полигон, и уже началось, в ограниченном масштабе, повторное заселение этой территории. Была осуществлена оценка облучения лиц, ежедневно посещающих места проведения наземных взрывов и тех подземных испытаний, которые сопровождались утечками.

Первоначальные результаты этой оценки показывают наличие уровней облучения в пределах 10 мЗв в год, главным образом вследствие внешнего облучения. В случае постоянного

ЯДЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ В РЕГИОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКА

Период испытаний	Геология зоны испытаний	Число испытаний
1949—1962 гг.	Песчаник	На поверхности: 26 В воздухе: 87
1961—1989 гг.	Гранит, кварц-порфир, сиенитный горный массив	В шахтных галереях: 215
1965—1980 гг.	Алеврит, порфир, песчаники	В скважинах: 24
1968 г.	Аргиллит	В скважинах: 2
1965—1989 гг.	Алеврит, песчаники, конгломерат	В скважинах: 107

заселения этих зон в будущем расчетные дозы облучения могли бы достигать 140 мЗв в год. Такая годовая доза превышает предел, достижение которого, как ожидается, должно повлечь за собой регулирующие вмешательства. Поэтому сочтено необходимым рассмотреть возможность проведения реабилитационных мероприятий на этих локальных участках, где наблюдается повышенная активность. Однако из-за бюджетных и других ограничений наиболее приемлемым коррективным действием в настоящее время может быть только ограничение доступа на эти участки.

Измерения, проведенные экспертами МАГАТЭ, в основном подтверждают данные более широких обследований, выполненных различными организациями Казахстана и бывшего Советского Союза. Объединенные результаты сочтены достаточными для создания базы предварительной оценки радиационной обстановки в районе вокруг Семипалатинского полигона.

Единственным исключением из вышеприведенных выводов является вопрос о снабжении питьевой водой. Хотя в пробах воды, взятых в ходе командиро-

вок, не обнаружено повышенных уровней содержания искусственных радионуклидов, отбор проб не охватывал весь район. Поэтому делать общие выводы о всей ситуации с водоснабжением затруднительно. Кроме того, полученные результаты не дают никакой гарантии обеспечения безопасной питьевой водой в будущем.

Мощности внешних доз.

Мощности доз внешнего излучения и активность почвы за пределами полигона равны или близки к типичным уровням доз в других районах и странах, где не проводилось ядерных испытаний. На некоторых участках наблюдались небольшие повышения, но они незначительны с точки зрения облучения местного населения.

В одной из деревень обнаружен более высокий уровень осадения плутония по сравнению с другими населенными пунктами, и там был проведен более широкий отбор проб почвы. Однако расчетные годовые дозы остаются низкими. Поэтому считается, что нет оснований для регулирующего вмешательства с целью понизить уровень облучения людей вне пределов Семипалатинского полигона. □

ОБСЛЕДОВАНИЕ АТОЛЛА БИКИНИ

ПЕТЕР ШТЕГНАР

В период создания атомной бомбы отдельные испытания проводились в странах, не обладающих инфраструктурой и научной компетенцией по оценке каких-либо связанных с этим опасностей радиации. В таких случаях требуется привлечение экспертов со стороны для получения независимых консультаций о радиационной обстановке, вызванной наличием остаточного радиоактивного материала от ядерных испытаний.

Правительства ряда государств — членов МАГАТЭ обратились к Агентству с просьбой об оказании помощи в этой области. Одним из обследованных МАГАТЭ мест проведения в прошлом ядерных испытаний является атолл Бикини, принадлежащий к Маршалловым островам.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Атолл Бикини расположен в 850 км к северо-западу от Маджуро на северной границе Маршалловых островов и состоит из более чем 23 островов и островков. Четыре острова (Бикини, Энеу, Наму и Энидрик) занимают свыше 70% суши атолла. Бикини и Энеу являются единственными островами атолла с постоянным населением.

В 1946 г. атолл Бикини стал первым на Маршалловых островах местом проведения Соединенными Штатами испытаний ядерного оружия. В 1948 г. соседний атолл Эниветок сменил

Бикини в качестве полигона. С 1954 г. атолл Бикини снова использовался для испытаний вплоть до 1958 г., когда США прекратили испытания ядерного оружия на Маршалловых островах.

Перед проведением первого ядерного испытания в 1946 г. 167 жителей острова Бикини были эвакуированы на атолл Ронгерик, примерно в 200 км к востоку, для проживания там, по-видимому, до неопределенного времени в будущем, пока не закончатся испытания. Жители Бикини оставались на атолле Ронгерик в течение двух лет. В 1948 г. они на короткое время были переселены на атолл Кваджалейн и позднее в том же году — на остров Кили.

Однако возникли проблемы. Они были связаны, в частности, с отсутствием на Кили лагуны, защитного рифа и мест для рыбной ловли. Небольшая полоска берега часто захлестывалась высокими волнами. Жители Бикини считали перемещение на Кили временной мерой и не хотели менять род занятий с рыболовства на фермерство.

За 12-летний период, до прекращения испытаний на Маршалловых островах в июле 1958 г., на атолле Бикини было проведено 16 испытательных взрывов ядерного оружия. Все они проводились на поверхности или в атмосфере. Испытания велись в лагуне атолла или над ее поверхностью, что приводило к распространению действия взрыва на все его острова.

История радиологических оценок и перемещений местного населения очень важна для понимания проблемы в целом. В августе 1968 г. — вслед за рядом радиологических обследований, проведенных с 1958 г. для оценки последствий выполнения программы испытаний ядерного оружия США, — было объявлено, что атолл Бикини безопасен для проживания и рекомендован для повторного заселения. Атолл очистили от обломков и вновь засадили фруктовыми деревьями. Следующее радиологическое обследование атолла Бикини проводилось в 1970 г.

В конце концов 139 жителей Бикини вновь заселили атолл. Однако они по-прежнему не были убеждены в безопасности жизни на атолле и в 1975 г. подали судебный иск против правительства США с требованием прекратить заселение, пока не будет проведено удовлетворяющее их и всестороннее радиологическое обследование.

Сбор дополнительных радиологических данных для оценки проводился в 1975, 1976 и 1978 гг. В сентябре 1978 г. было решено переселить 139 жителей Бикини, вернувшихся на атолл, обратно на остров Кили, а также на остров Эджит на атолле Маджуро.

После вторичного перемещения было проведено новое ра-

*Г-н Штегнар — сотрудник
Отдела радиационной
безопасности и безопасности
отходов МАГАТЭ.*

диологическое обследование, финансируемое Соединенными Штатами. Обследование состояло в том, чтобы с помощью детекторов, установленных на вертолетах, определить контуры действия внешних гамма-доз. Отбирались и анализировались также пробы растительности, морепродуктов, животных и почвы. Пересмотренные оценки доз были опубликованы в 1980 и 1982 гг. Они показали, что если жители Бикини решат вновь поселиться на своем острове, то наиболее значительным источником облучения для них стала бы наземная пищевая цепочка. Эта оценка доз совсем недавно, в 1995 г., была откорректирована на основе постоянно осуществляемой на атолле программы измерений.

Вслед за обследованием, проведенным США, правительство Республики Маршалловы Острова попросило провести независимую радиологическую оценку посредством мониторинга атолла Бикини, а также всех других атоллов Республики на наличие остатков радиоактивных веществ. Общий надзор за ходом реализации проекта осуществляла научно-консультативная группа известных и уважаемых ученых. С целью обеспечения точности измерений и воспроизводимости данных обследований были выполнены лабораторные программы контроля качества. В целом исследование подтвердило результаты прежних программ измерений. Выводы исследования были опубликованы, и доклад по атоллу Бикини вышел в свет в феврале 1995 г.

В августе 1995 г., спустя шесть месяцев после выхода доклада, Nitejela (парламент) Маршалловых Островов рассмотрел результаты исследования, но не принял их.

ПРОСЬБА О ПРОВЕДЕНИИ МЕЖДУНАРОДНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

В 1994 г. правительство Маршалловых Островов обратилось к МАГАТЭ с просьбой провести независимое международное обследование радиационных условий на атолле Бикини, а также рассмотреть и рекомендовать стратегические подходы для повторного заселения атолла. В ответ на эту просьбу МАГАТЭ в декабре 1995 г. созвало совещание консультативной группы в рамках своего проекта по техническому сотрудничеству.

Были определены три основные цели международного обследования:

- дать оценку радиационных условий на Бикини, принимая во внимание информацию, представленную правительством Республики;
- определить, требуется ли подтверждение существующей информации о текущей радиационной обстановке на атолле;
- установить, необходимы ли коррективные меры в целях радиационной защиты, и, если такая потребность есть, определить форму, масштаб и продолжительность такого вмешательства.

При проведении международного обследования учитывались все имеющиеся данные обследования по заказу правительства Маршалловых Островов, а также большого числа других оценок, сделанных учеными всего мира.

ОБСЛЕДОВАНИЕ МАГАТЭ НА АТОЛЛЕ БИКИНИ

В мае 1997 г. МАГАТЭ направило на атолл Бикини группу специалистов по мониторингу окружающей среды для осуществления ограниченной программы

измерений среды и отбора проб. Были произведены замеры мощности поглощенной дозы в воздухе и концентрации наиболее радиологически значимых радионуклидов в репрезентативных пробах почвы и пищевых продуктов.

Цель обследования заключалась в подтверждении достоверности данных, собранных ранее. Измерения, проведенные во время обследования, как правило, хорошо согласовывались с ранее сообщенными значениями.

ВЫВОДЫ

На основе своего обследования Консультативная группа МАГАТЭ определила, что нет необходимости в дальнейшем подтверждении измерений и оценок радиационных условий на атолле Бикини. Уже собранные данные имеют достаточно высокое качество, позволяющее произвести соответствующую оценку. Выполненная МАГАТЭ программа ограниченного мониторинга района обеспечила высококачественную проверку и подтвердила достоверность прежде собранных данных.

Было рекомендовано, чтобы при существующих радиационных условиях остров Бикини не использовался вновь для постоянного заселения. Эта рекомендация основывалась на предположении, что лица, вновь заселяющие остров, будут питаться исключительно продуктами местного производства. Радиологические данные показывают, что при подобном питании годовая эффективная доза составила бы примерно 15 мЗв. Считается, что при таком уровне требуются определенные меры вмешательства в целях обеспечения радиационной защиты.

Известен ряд коррективных мер, выполнение которых могло бы позволить вновь постоянно



заселить остров. В их число входит периодическое внесение калийных удобрений в местах выращивания пищевых культур или удаление на острове верхнего слоя почвы. По общему мнению, наиболее разумный подход заключался бы в применении калийных удобрений. Поскольку радиоактивность в растениях вызвана главным образом поглощением радиоактивного цезия, калий вытеснял бы этот элемент, сокращая таким образом общий уровень облучения насе-

ления. Соскабливание и удаление верхнего слоя почвы нанесло бы серьезный экологический ущерб острову и имело бы социальные последствия.

Если будет решено корректировать ситуацию на острове Бикини путем применения удобрений, было рекомендовано

продолжать осуществление элементарной программы мониторинга продуктов питания и здоровья населения. Цель такой программы — гарантировать местному населению, что в их организм не поступает значительных количеств радиоактивных веществ.

Этот проект является примером исследования, предпринятого в результате обращения к МАГАТЭ с просьбой произвести оценку существующей радиационной обстановки, обусловленной наличием остатков радиоактивных веществ. Такая услуга была оказана государству-члену, имеющему законные основания испытывать беспокойство в связи с создавшимся положением. Предоставив эту услугу, МАГАТЭ помогло национальным органам сориентироваться в отношении реальных мер, которые можно принять с целью повторного заселения районов, где существует беспокойство в связи с состоянием окружающей среды.

В 1998 г. МАГАТЭ выпустило доклад *“Радиационные условия на атолле Бикини: перспективы повторного заселения”*, в котором более подробно сообщается о международном обследовании. (См. в данном номере раздел *“Книги МАГАТЭ”* для заказа информации.) Кроме того, в июле 1997 г. официальный журнал Дозиметрического общества *Health Physics* (*“Физика здоровья”*) посвятил этой теме специальное издание, включая материалы, имеющие непосредственное отношение к вопросам повторного заселения атолла Бикини его жителями. □

Фото: В рамках проведенного МАГАТЭ международного обследования атолла Бикини группы экспертов отбирали и анализировали пробы окружающей среды на ряде участков. На фото показаны подготовка кокосовых орехов для измерения радиоактивности и отбор проб разрезов почвы на острове Бикини. (G. Winkler/LAEA)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОЕКТ ПО ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ: РЕЗЮМЕ В ГЛУБИНАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

КИРСТИ-ЛИЗА ШЁБЛОМ И ГОРДОН ЛИНСЛИ

В 1992 г. появились слухи о том, что бывший Советский Союз в течение более трех десятилетий осуществлял сброс радиоактивных отходов на мелководных участках арктических морей. Эта новость вызвала огромное беспокойство во многих странах, особенно в тех, у которых есть выход к Северному Ледовитому океану.

В начале 1993 г. администрацией президента России был опубликован документ с подробной информацией о проведенных в Советском Союзе в прошлом операциях по сбросу отходов. В соответствии с данным документом, именуемым "Белой книгой", сброшенные в арктические моря объекты включали шесть ядерных реакторов подводных лодок с отработавшим топливом; защитный блок реактора атомного ледокола с отработавшим топливом; десять ядерных реакторов без топлива; а также твердые и жидкие низкоактивные отходы.

Твердые отходы сбрасывались в Карское море, в основном в мелководных заливах Новой Земли на глубинах от 12 до 135 м и в Новоземельской впадине на глубине до 380 м. Жидкие низкоактивные отходы сбрасывались в открытых водах Баренцева и Карского морей.

В 1993 г. МАГАТЭ в ответ на обеспокоенность своих государств-членов и по просьбе стран — участниц Конвенции о предотвращении загрязнения моря сбросами отходов и других материалов приступило к осуществлению Международного проекта по оценке состояния морей Северного Ледовитого океана (ИАСАП). Проект преследовал две цели:

- оценка опасности для здоровья людей и состояния окружающей среды, связанной со сбросом радиоактивных отходов в Карское и Баренцево моря;
- изучение возможных коррективных мер в связи со сбросом радиоактивных отходов и представление рекомендаций относительно их необходимости и оправданности.

В осуществлении проекта принимали участие свыше 50 экспертов из 14 стран под руководством Международной консультативной группы. Сфера их деятельности включала:

- изучение радиационной обстановки в арктических водах;
- прогнозирование потенциальных утечек из сброшенных отходов в будущем;
- моделирование перемещения высвобожденных радионуклидов в окружающей среде и оценка связанного с этим радиационного воздействия на человека и биоту; и
- изучение технико-экономической обоснованности, затрат и выгод возможных коррективных мер.

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА

Для оценки инвентарных количеств продуктов распада, продуктов активации и актинидов в проекте использовалась информация, основанная на истории эксплуатации и расчетных данных по нейтронным спектрам захороненных реакторов и топливных сборок. Был сделан вывод, что суммарная радиоактивность высокоактивных отходов на время их сброса составляла 37 ПБк. Соответствующее инвентарное количество сброшенных высокоактивных отходов

в 1994 г. оценивалось в 4,7 ПБк. Основными радионуклидами в 1994 г. были цезий-137, стронций-90, никель-63 и кобальт-60. В далеком будущем (3000 г.) доминирующими в инвентарном количестве станут изотопы плутония и никель-59.

Радионуклиды в окружающей среде. Открытая акватория Карского моря является относительно незагрязненной по сравнению с некоторыми другими морскими районами. Основными источниками его загрязнения искусственными радионуклидами являются непосредственные осаднения из атмосферы и стоки глобальных радиоактивных выпадений, обусловленных испытаниями ядерного оружия, сбросы заводов по переработке ядерного топлива в Западной Европе, а также выпадение радиоактивных осадков вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

Измерения материалов окружающей среды свидетельствуют о том, что годовые индивидуальные дозы облучения от искусственных радионуклидов в Карском и Баренцевом морях в настоящее время являются исключительно низкими и составляют от 2 до 10 микроЗв. Повышенные концентрации определенных радионуклидов были отмечены в отложениях на расстоянии нескольких метров от контейнеров с низкоак-

Г-жа Шёблом — сотрудник Секции безопасности отходов Отдела радиационной безопасности и безопасности отходов; г-н Линсли — руководитель Секции. Более подробную информацию о проекте ИАСАП и его результатах можно найти в статьях "Бюллетеня МАГАТЭ", том 37, № 2 (1995 г.) и том 39, № 2 (1997 г.).

тивными отходами, что предполагает наличие утечек в данных контейнерах. Однако эти утечки не привели к поддающемуся измерению повышению содержания радионуклидов на внешних участках заливов и в открытой акватории Карского моря.

ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В БУДУЩЕМ

Интенсивность выделения радионуклидов в окружающую среду будет зависеть от целостности материалов конструкции реактора, дополнительных защитных барьеров, установленных перед сбросом отходов, и самого ядерного топлива.

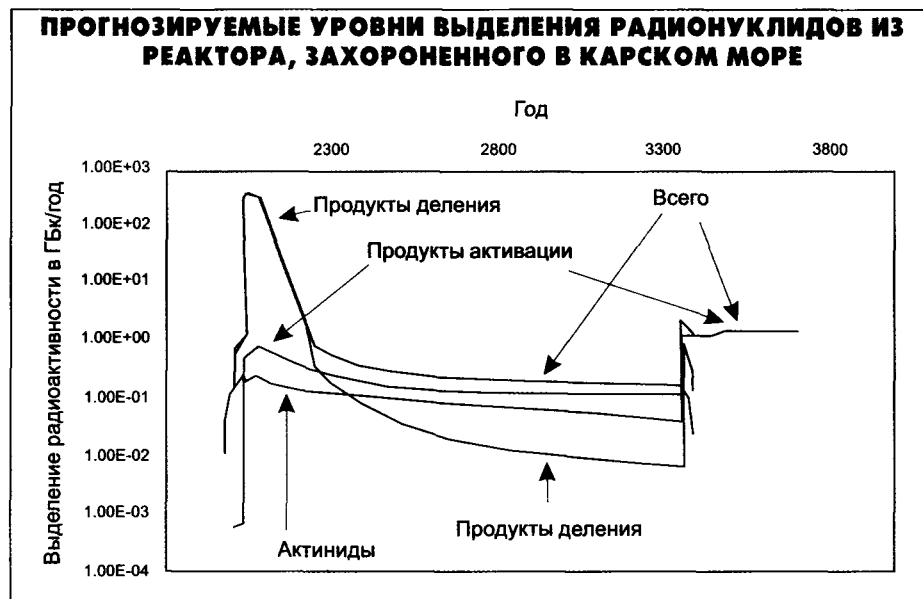
Конструкция и состав защитных барьеров для каждого сброшенного объекта с высокоактивными отходами подверглись детальному изучению, а при расчете интенсивности выделения использовались оптимальные значения скорости коррозии и срока службы барьеров. Внешние события, такие как столкновения с судами или, в более общем плане, глобальное похолодание с последующей очисткой заливов ледниками, могут также привести к повреждению защитной оболочки.

Были рассмотрены следующие сценарии возможного поступления радионуклидов в окружающую среду:

- оптимальный расчетный сценарий — выделение радионуклидов происходит вследствие постепенной коррозии защитных барьеров, контейнеров и распада самого топлива;

- два сценария в случае катастроф, приводящих в определенные моменты времени к мгновенному или ускоренному выбросу остающегося инвентарного количества радионуклидов.

Уровни интенсивности выделения нуклидов прогнозировались в соответствии с оптимальным расчетным сценарием для одного из захороненных реакторов (см. график). Полученные уровни интенсивности использо-



вались в математических моделях поведения радионуклидов в окружающей среде для оценки доз облучения, получаемых людьми и биотой.

Расчет доз облучения. Такой расчет проводился в отношении отобранных групп населения, населения мира, а также флоры и фауны.

Индивидуальные дозы. Для оценки индивидуальных доз были рассмотрены три группы населения. Расчеты индивидуальных доз проводились для периодов времени, охватывающих пиковые мощности этих доз по каждому из трех сценариев.

- Группа 1 — группа населения, существование которой в высшей степени зависит от потребления рыбных продуктов Карского моря, морских млекопитающих, морских птиц и их яиц и представители которой проводят 250 часов в год на морском побережье.

- Группа 2 — гипотетическая группа военного персонала, патрулирующего береговую полосу заливов предположительно в течение 100 часов в год. Рассматриваемые источники облучения включают внешнюю радиацию, а также вдыхание морских брызг и находящихся в них во взвешенном состоянии осадочных частиц.

- Группа 3 — считающаяся репрезентативной для населения севера России группа потребителей морепродуктов (рыбы, моллюсков и ракообразных), добываемых в Баренцевом море.

Максимальные годовые индивидуальные дозы облучения для каждой группы потребителей морепродуктов (группы 1 и 3) по всем трем сценариям являются низкими (менее 1 микроЗв) и еще менее значительными по сравнению с вариациями в природных фоновых дозах. (Годовые дозы для групп 1 и 3, полученные от природного полония-210, содержащегося в морепродуктах, составляют 500 микроЗв и 100 микроЗв, соответственно.) Дозы для гипотетической критической группы военного персонала, патрулирующего залив (группа 2), выше, но тем не менее они вполне сравнимы с дозами, обусловленными природной фоновой радиацией, — в среднем 2400 микроЗв (см. табл. на стр. 20).

Коллективные дозы. Расчет коллективных доз проводился лишь по оптимальному расчетному сценарию выделения радионуклидов. Коллективная доза для населения мира, полученная вследствие рассеяния радионуклидов в мировых океанах (кроме углерода-14 и йода-129), рассчитывалась на пери-

РАСЧЕТЫ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ В РАМКАХ ПРОЕКТА

Максимальные суммарные годовые индивидуальные дозы облучения для отобранных групп населения (микроЗв/год)

Сценарий	Годовые дозы для потребителей морепродуктов	Годовые дозы для военного персонала
Оптимальный расчетный сценарий	<0,1	700
Сценарии в случае катастроф	0,3—1	3000—4000
Коллективные дозы для населения мира (чел./Зв)		
	Отрезок времени (до указанного года)	
	2050	3000
Нуклиды, за исключением углерода-14 и йода-129	0,01	1
Углерод-14	отсутствует	8
Йод-129	отсутствует	0,0001
Всего		~10

од до 2050 г. с целью получения информации относительно коллективной дозы для нынешнего поколения и на следующие 1000 лет, охватывающих период предполагаемых пиковых выбросов. Указанные коллективные дозы составляют 0,01 чел./Зв и 1 чел./Зв для каждого периода, соответственно.

Если предположить, что все количество углерода-14 в отходах будет высвобождено примерно к 2000 году, и присовокупить полученную дозу применительно к населению мира на 1000 лет вперед (т. е. до 3000 г.), получим коллективную дозу порядка 8 чел./Зв. Соответствующий показатель для йода-129 намного ниже и равняется 0,0001 чел./Зв. Таким образом, суммарная коллективная доза для населения мира составит за последующие 1000 лет примерно 10 чел./Зв (см. табл.).

Доза для флоры и фауны. Были подсчитаны дозы облучения для целого ряда популяций живых организмов — от зоопланктона до китов, — оказавшиеся очень низкими. Пиковые дозы облучения, прогнозируемые в данной оценке, составляют примерно 0,1 мкГр/ч. Такая мощность дозы, как считается, вряд ли способна причинить какой-либо ощутимый вред в том, что касается заболеваемости, смертности, фертильности, плодородия и ко-эффективности мутации, которые

могут повлиять на сохранение здоровых популяций.

Следует также отметить, что лишь незначительная часть популяций биоты местных экосистем может подвергнуться воздействию высвобожденных радионуклидов.

РАССМОТРЕНИЕ КОРРЕКТИВНЫХ МЕР

В отношении возможных коррективных мер было проведено предварительное изучение инженерно-технического обоснования и затрат для контейнера с отработавшим топливом с атомного ледокола. Защитная сборка с ледокола содержит наибольшее инвентарное количество радионуклидов из всех захороненных объектов и располагает наилучшей документальной базой, касающейся конструкции и защитных барьеров.

Эксперты по подъему затопленных объектов выбрали для более тщательного изучения два потенциально реальных варианта коррективных мер. Первый вариант предусматривал накрытие объекта на месте коллаком из бетона или другого подходящего материала в целях его инкапсулирования. Второй вариант предполагал извлечение объекта на сушу. Оба варианта представлялись технически осуществимыми. Стоимость операций на море была оценена в 5—13 млн. долл. США.

Принятие решения о необходимости коррективных мер требует рассмотрения целого ряда факторов. С точки зрения перспектив радиационной защиты эти факторы включают рассмотрение доз и рисков облучения в отношении наиболее уязвимых лиц (критическая группа) в случае непринятия коррективных мер, а также степени улучшения их положения в случае, если меры принимаются. Другой фактор касается суммарного воздействия на здоровье уязвимого населения (пропорционально коллективной дозе), а также степени уменьшения подобного воздействия в случае принятия коррективных мер.

ВЫВОДЫ В РАМКАХ ПРОЕКТА

В результате осуществления проекта сделан ряд выводов:

■ Мониторинг показал, что выделение радиоактивных продуктов из идентифицированных сборенных объектов является незначительным и локализовано в непосредственной близости от мест сброса.

■ Прогнозируемые возможные дозы облучения для представителей типичных групп местного населения, обусловленные захороненными в Карском море радиоактивными отходами, являются очень низкими — менее 1 мкЗв в год. Прогнозируемые возможные дозы для гипотетической группы военного персонала, патрулирующего прибрежные участки заливов, в которых проводился сброс отходов, выше — до 4000 мкЗв в год, но они также остаются на уровне средних годовых доз, получаемых от природной фоновой радиации.

■ Дозы облучения морской фауны незначительны, на порядки ниже тех доз, которые могли бы оказать вредное воздействие на популяции фауны.

■ Что касается коррективных мер, то с радиологической точки зрения принятие их неоправданно. □

МЕЖДУНАРОДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА АТОЛЛАХ МУРУРОА И ФАНГАТАУФА ИССЛЕДОВАНИЕ НА АТОЛЛЕ МУРУРОА

Э. ГЕЙЛ ДЕ ПЛАНК

Получены результаты одной из самых крупных в истории международных оценок окружающей среды: проведенного МАГАТЭ в последние три года исследования с целью оценки радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа в южной части Тихого океана, где с 1966 по 1996 г. Франция проводила ядерные испытания. Мне представилась уникальная возможность возглавить этот глобальный проект в качестве председателя Международного консультативного комитета (МКК) данного исследования.

После просьбы французского правительства и его заявления о прекращении всех испытаний на атоллах МАГАТЭ приступило в апреле 1996 г. к реализации данного исследования. МКК был создан бывшим Генеральным директором МАГАТЭ Хансом Бликсом для руководства проектом, а я была назначена его председателем.

В порядке справки: упомянутые выше атоллы расположены в восточной части Французской Полинезии, примерно в 100 км от Таити и приблизительно на одинаковом расстоянии от западного побережья Соединенных Штатов и Латинской Америки и восточного побережья Австралии. На атоллах Муруроа и Фангатауфа проводились в основном два вида экспериментов: 178 испытаний ядерного оружия, в ходе которых взрывались ядерные устройства с выделением энергии деления, и проверочные испытания безопасности зарядов, которые состояли в том,

что для ядерных устройств создавались аварийные условия — центральная часть ядерного оружия разрушалась взрывами обычных взрывчатых веществ без выделения или с незначительным выделением энергии деления.

Большинство испытаний проводилось на атолле Муруроа, более крупном из двух атоллов, а остальные, в основном более мощные, взрывы — на атолле Фангатауфа. Испытания ядерного оружия и проверочные испытания безопасности зарядов проводились как в атмосфере, так и под землей. Всего было проведено 41 испытание в атмосфере, из них 37 — на атолле Муруроа и 4 — на атолле Фангатауфа; в большинстве из них ядерные устройства подвешивались с помощью воздушного шара на значительном удалении от земли. Было проведено 137 подземных испытаний: 127 на атолле Муруроа и 10 — на атолле Фангатауфа, в большинстве из которых ядерные устройства погружались в буровые скважины, оборудованные в скальной породе под коралловым кольцом или под лагуной атоллов. Всего было проведено 15 проверочных испытаний безопасности зарядов: 5 в атмосфере и 10 под землей.

Поскольку последствия испытаний ядерного оружия представляют собой сложную проблему как с научной, так и с политической точки зрения, реализация исследования столкнулась с рядом больших трудностей. К ним следует отнести необходимость обеспечения независимости исследования, по-

требность в большом числе компетентных ученых самых разных специальностей и обладающих богатым опытом, а также в организационной структуре, способной эффективно обеспечить тщательное и своевременное выполнение поставленной задачи. В этих целях в состав МКК, осуществлявшего политическое и научное руководство проектом, были включены 14 представителей различных стран из разных регионов мира и четыре представителя ex officio от Европейской комиссии, Южнотихоокеанского форума, Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации и Всемирной организации здравоохранения (см. текст в рамке на стр. 22). Кроме МКК и сотрудников МАГАТЭ в исследовании принимали участие 55 экспертов из 21 страны. Исследование вышло далеко за рамки кабинетной работы, поскольку в его ходе необходимо было осуществить кампанию по проведению измерений и отбору проб на атоллах для оценки остаточных радиоактивных материалов как в наземной, так и в водной окружающей среде. Всего в этой кампании было задействовано 18 лабораторий из

Д-р де Планк, ранее член Комиссии по ядерному регулированию США, а ныне независимый консультант, была председателем Международного консультативного комитета, осуществлявшего руководство исследованием радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа.

12 стран, общее руководство которыми осуществлялось лабораториями МАГАТЭ в Зайберсдорфе и Монако.

Цели исследования, определенные мандатом, включали оценку перспективы развития обстановки на двух атоллах и в прилегающих к ним районах с точки зрения радиационной безопасности, выявление потенциальной радиационной опасности для населения и выработку рекомендаций относительно формы, масштабов и продолжительности любых коррективных мер, мониторинга и каких-либо иных последующих действий в случае их необходимости. Конкретные задачи исследования состояли в том, чтобы дать оценку радиационным условиям на атоллах, создавшимся после прекращения ядерных испытаний, охватив при этом как современную радиационную обстановку, так и потенциальную радиационную обстановку в долгосрочной перспективе.

Очень важно понять эти цели, поскольку данное исследование не предназначалось для ретроспективной оценки прошлой радиационной обстановки, например облучения, вызванного радиоактивными выпадениями в ходе испытаний (такая работа обычно выполняется НКДАР ООН), или профессионального облучения рабочих и военного персонала во время испытаний (насколько известно МКК, французские официальные органы опубликуют доклад по данной теме).

В результате исследования были сделаны следующие основные выводы:

■ Не будет никаких негативных последствий облучения для здоровья, которые могли бы быть диагностированы средствами медицины у отдельных лиц или эпидемиологически выявлены у групп людей и которые могли бы быть вызваны расчетными дозами облучения, получаемыми в настоящее вре-

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Председатель: Д-р Э. Гейл де Планк *(на фото)*, ранее член Комиссии по ядерному регулированию США, ныне независимый консультант, США

Члены Комитета из государств — членов МАГАТЭ:

Аргентина: Д.Х. Бенинсон, бывший председатель Международной комиссии по радиологической защите, во время проведения исследования — председатель Управления ядерного регулирования Аргентины, Буэнос-Айрес

Соединенное Королевство: Р. Кларк, Национальный совет по радиологической защите, в настоящее время — председатель Международной комиссии по радиологической защите

Австралия: Х. Гарнетт, Австралийская организация по ядерной науке и технике

Швеция: Д-р Й.Э.Й. Хольм, Отдел радиационной физики, больница Лундского университета

Индонезия: Х.С. Карьоно, Центр по разработке ядерных минералов, Национальное агентство по атомной энергии

Германия: А. Кауль, Федеральное управление радиационной защиты



Российская Федерация:

А. Матушенко, Российская комиссия по радиационной защите

Япония: Т. Нумакунаи, Институт радиационных измерений

Новая Зеландия: А. Полетти, физический факультет, университет Окленда

Члены Комитета ex officio:

Научный комитет ООН по действию атомной радиации: Б. Беннет, Вена

Европейская комиссия:

Дж. Фрезер, Генеральный директорат XI/C/1, Люксембург

Южнотихоокеанский форум: В.А. Фуавао, Региональная программа по окружающей среде для южной части Тихого океана, Апия, Западное Самоа

Всемирная организация здравоохранения: В. Крайзель, Здоровье и окружающая среда, Женева

мя или могущими быть полученными в будущем в результате облучения остаточным радиоактивным материалом на атоллах Муруроа и Фангатауфа.

■ В целом ожидаемые уровни доз и характер облучения таковы, что они не влекут за собой каких-либо последствий для групп популяций биоты, и хотя в некоторых случаях отдельные представители могут пострадать, однако не до такой степени, что-

бы поставить под угрозу весь вид или нарушить межвидовой баланс.

■ Принимая во внимание измеренные и прогнозируемые уровни активности радионуклидов и низкие уровни доз облучения, рассчитанные на настоящее время и на будущее, а также с учетом международных рекомендаций никакие коррективные меры на атоллах Муруроа и Фангатауфа с точки зрения ра-

ПУБЛИКАЦИИ И ДОКЛАДЫ

Результаты исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа содержатся во всеобъемлющей серии публикаций и докладов. Подробные результаты приводятся в четырех отдельных публикациях: Основной доклад; Резюме; Краткий доклад и Технический доклад.

Основной доклад является главной публикацией по исследованию и содержит всеобъемлющий научный отчет, включая выводы, заключения и рекомендации. Он дополняется подробным Техническим докладом в шести томах, предназначенным для научных работников. Резюме воспроизводит первоначальный документ,

представленный Совету управляющих МАГАТЭ. Краткий доклад является развернутым конспектом исследования, рассчитанным на более широкую аудиторию; он содержит выводы, заключения и рекомендации.

МАГАТЭ издает также труды Международной конференции по данному исследованию, которая состоялась в Вене с 29 июня по 3 июля 1998 г.

Упомянутые доклады можно заказать в Отделе публикаций МАГАТЭ (IAEA Division of Publications, Sales and Promotion Unit). Информацию о заказе изданий МАГАТЭ см. в разделе "Книги МАГАТЭ" в данном выпуске "Бюллетеня".

диационной защиты ни в настоящее время, ни в будущем не требуются.

■ Аналогичным образом отпадает необходимость в дальнейшем мониторинге окружающей среды на атоллах Муруроа и Фангатауфа для целей радиационной защиты.

■ Хотя в процессе моделирования систем делалось много допущений, результаты исследования являются устойчивыми: ожидаемая степень изменений в выводах по причине неопределенностей в использованных при моделировании параметрах незначительна. Кроме того, прогнозируемые дозы облучения являются настолько низкими, что крупные ошибки (даже на один порядок) не могут повлиять на выводы.

Далее в исследовании отмечается, что "на атоллах Муруроа и Фангатауфа осуществляется научная программа по мониторингу концентрации радионуклидов в скальных породах и кратерах —

полостях, где проводились ядерные испытания. В случае продолжения данной программы рекомендуется обратить особое внимание на мониторинг миграционного поведения долгоживущих и относительно подвижных радионуклидов и радиоколлоидов ввиду его особого интереса для науки. Научная программа, дополненная в определенной мере мониторингом уровней радионуклидов в биосфере, может оказаться также полезной для обеспечения уверенности населения в устойчивой радиационной безопасности атоллов".

На проведение исследования, в котором в конечном счете было задействовано примерно 100 человек, ушло около двух лет. Оно завершилось публикацией большой серии из почти 10 докладов (см. вставку), специальными семинарами по результатам исследования во Французской Полинезии и на островах Фиджи, а также конференцией в Вене (с 30 июня по

3 июля 1998 г.) с целью дать возможность научному сообществу рассмотреть проделанную работу и ее выводы.

Для меня было большой честью работать вместе со столь многими выдающимися экспертами из разных стран мира и МАГАТЭ. МКК и вся группа, принимавшая участие в исследовании, благодарны бывшему Генеральному директору МАГАТЭ Хансу Бликсу и нынешнему Генеральному директору Мохамеду эль-Баради за моральную поддержку, помощь и предоставление ресурсов, необходимых для проведения исследования, а также причастным к нему сотрудникам МАГАТЭ — за их неустанные усилия.

Всестороннее содействие правительства Франции по осуществлению этого исследования заслуживает самого горячего одобрения и благодарности. Его представители обеспечивали участников проекта огромным количеством различных материалов, включая все то, что запрашивалось и считалось необходимым для проведения исследования. Их помощь и материально-техническое обеспечение при проведении кампании по измерениям и отбору проб на атоллах Муруроа и Фангатауфа были безупречными; без их сотрудничества проведение исследования было бы невозможным.

С научной точки зрения данное исследование явилось превосходной школой приобретения опыта для всех его участников. Я надеюсь, что оно внесло вклад в базу фундаментальных знаний в области науки и техники. Я надеюсь также, что с более практической точки зрения опыт и информация, приобретенные в ходе исследования, помогут нашим странам в решении различных технических проблем. Эти проблемы включают проектирование и строительство безопасных установок для удаления радиоактивных отходов.

КОЛЛЕКТИВНАЯ НАУЧНАЯ РАБОТА

ПЬЕР РОБЕРТО ДАНЕЗИ И ПАВЕЛ ПЕТЕР ПОВИНЕК

Вскоре после создания Международного консультативного комитета для надзора за проведением исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа (Французская Полинезия) возник ряд научных проблем. К их числу следует отнести проблему сбора и анализа данных. В период с июля 1966 г. по январь 1996 г. Франция провела на атоллах 193 эксперимента в области испытания ядерного оружия, поэтому необходимо было осуществить независимую программу отбора и анализа проб. Программа должна была отвечать нескольким целям, включая оценку достоверности имеющихся французских данных и установление того, обеспечили ли проведенный Францией мониторинг адекватную оценку концентраций и инвентарных количеств соответствующих радионуклидов в наземной и морской окружающей среде, с тем чтобы можно было правильно рассчитать дозы облучения.

Поскольку лаборатории МАГАТЭ в Зайберсдорфе, Австрия, и в Монако (ЛМС) накопили богатый опыт по мониторингу радиоактивности в наземной и морской окружающей среде, они были приглашены к участию в этой работе.

Как наземные, так и морские кампании по отбору проб в рамках исследования проводились в 1996 г. В марте 1996 г. группа технических специалистов из указанных лабораторий посетила атоллы с целью оценки возможностей материально-технического обеспечения работы миссий в таком отдаленном районе.

Она провела инспекцию потенциальных мест отбора проб, лабораторного оборудования и установок, а также встретила с представителями Французского управления по связи и местным персоналом. После этого были разработаны программы отбора проб и мониторинга, которые были обсуждены Целевой группой А в рамках исследования на атолле Муруроа под председательством д-ра Мак-Юана из Национальной радиологической лаборатории, Новая Зеландия. В состав данной группы входили эксперты из Дании, Японии, Фиджи, Австралии, Соединенных Штатов, Австрии и Соединенного Королевства.

Упомянутые выше кампании проводились с 1 июля по 2 августа 1996 г. Группы по наземным и морским операциям были укреплены рядом международных экспертов. Анализ радионуклидов в отобранных образцах проводился частично в лабораториях МАГАТЭ, а частично в рамках сети независимых международных лабораторий.

НАЗЕМНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Программа отбора проб ставила целью получение репрезентативных образцов окружающей среды. За исключением некоторых проб, отобранных в районе Колетт на атолле Муруроа, где проводилось исследование высоко-радиоактивных ("горячих") частиц, основное внимание обращалось на подготовку и обработку образцов с целью обеспечения однородного распределения всех радионуклидов в конечных пробах, полученных из отобранных в окружающей среде. Кроме

того, каждая проба делилась на три части. Одна часть измерялась в сотрудничающих международных лабораториях, еще одна часть направлялась французскому персоналу, а третья — в Зайберсдорф на хранение. Французские протоколы подвергались проверке научным персоналом в Зайберсдорфе и другими международными экспертами. Они были признаны адекватными, и им точно следовали во всех процедурах по отбору проб с целью обеспечения обоснованной сравнимости полученных результатов с французскими данными. Отобранные образцы подвергались затем анализу в Зайберсдорфской лаборатории и в лабораториях, входящих в международную Сеть аналитических лабораторий по измерению радиоактивности окружающей среды (ALMERA) МАГАТЭ. Из этой сети, насчитывающей 53 лаборатории, было отобрано 11 для проведения анализов проб с атоллів Муруроа и Фангатауфа.

Места отбора и пробы. Отбор проб проводился на 15 отобранных станциях, располагавшихся по возможности в непосредственной близости от французских станций, где отбирались пробы во время операций по мониторингу окружающей среды в прошлые годы. В дополнение к этому было взято несколько проб на ближайшем заселенном атолле Турейя.

*Г-н Данези — директор Лабораторий МАГАТЭ в Зайберсдорфе;
г-н Повинек — руководитель Радиометрической секции Лаборатории морской среды МАГАТЭ в Монако.*



Положение Французской Полинезии в южной части Тихого океана



Карта: Расположение атоллов Муруроа и Фангатауфа в южной части Тихого океана. Исследовательские группы отобрали для анализа около 300 проб.

Фотографии: Сверху справа — члены группы по отбору проб бурят скважину в коренной коралловой породе на атолле Фангатауфа; отбор образцов породы на атолле Муруроа; взятие проб воды в лагуне атолла Муруроа; гамма-спектрометр устанавливается на морском дне лагуны атолла Муруроа; и отбор проб донных отложений в лагуне атолла Фангатауфа.

(IAEA Seibersdorf Laboratories/IAEA-MEL)

Было отобрано несколько видов проб, общим числом 299. После проверки всех образцов на содержание радиоактивности был проведен анализ 198 проб. Пробы воздуха, отобранные с помощью фильтров, использовавшихся для сбора аэрозолей или ресуспендированных радиоактивных частиц, анализировались с целью оценки потенциального облучения при их вдыхании. Эти фильтры собирались ежедневно, и их общая альфа- и бета-активность измерялась на атолле Муруроа. Затем их отсылали в лаборатории Зайберсдорфа, где измеряли их гамма-активность, после чего подвергали озонению для определения альфа- и бета-активности.

Где было возможно, отбирались пробы верхних слоев грунта и глубинных разрезов для оценки общего заражения поверхности и переноса радионуклидов сквозь почву.

В районах без грунта отбирались пробы свободных кораллов и песка. Песок и рыхлые породы на взморье подвержены перемещениям и перемешиванию под действием волн и штормов, поэтому случайный отбор проб с последующим их перемешиванием представлялся наиболее целесообразной процедурой получения объективной репрезентативной информации для определенного района в целом с помощью одного составного образца.

Для исследования миграционных нисходящих потоков радионуклидов, первоначально осажденных на поверхности, отбирались керны коралловых пород. Профиль вертикальной концентрации радионуклидов также являлся важным параметром для расчета их общего инвентарного количества методом гамма-спектрометрии *in situ*.

На атоллах Муруроа и Фангатауфа не выращиваются овощи или фруктовые деревья, за исключением отдельных очень маленьких частных садов на почве, при-

везенной из других районов Французской Полинезии. Тем не менее было признано желательным получить хотя бы косвенную информацию по особенностям переноса радионуклидов из почвы в растения, которые могли бы культивироваться гипотетической группой постоянных жителей атоллов; поэтому в отсутствие другой зелени на атоллах проводился отбор листьев деревьев и кустарников в качестве ее заменителей. Более конкретные данные были получены по кокосовым орехам. Кокосовые пальмы были завезены на атолл Муруроа примерно 100 лет назад. Поскольку они играют очень важную роль в питании полинезийцев, были собраны кокосовые орехи в нескольких районах атолла Муруроа, на Турейе и на некоторых изолированных участках атолла Фангатауфа. Сбор кокосовых орехов проводился с учетом их спелости с целью получения проб молока и копры.

В различных местах на двух атоллах с помощью высокочистых германиевых детекторов было проведено 106 гамма-спектрометрических измерений *in situ* с целью сбора информации по инвентарным количествам радионуклидов плутония-239, америция-241, кобальта-60, цезия-137 и европия-155 в поверхностных и подпочвенных слоях.

Гамма-спектрометрические анализы проводились в отношении 192 проб, в то время как анализу на содержание альфа- и бета-излучающих радионуклидов были подвергнуты 178 проб. В целях проверки и контроля качества измерения дублировались или даже проводились трижды. В конечном счете было проведено 941 измерение альфа-излучающих радионуклидов (плутоний-238, плутоний-239, 240 и америций-241), 78 измерений стронция-90 и 2520 измерений различных гамма-излучающих радионуклидов.

Весь процесс отбора, подготовки, хранения и распределения

проб осуществлялся с соблюдением строжайших мер по обеспечению качества.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ

С самого начала было очевидно, что операции, проводившиеся в течение всего лишь нескольких недель, могли обеспечить только относительно ограниченный отбор проб. В свою очередь это должно было неизбежно приводить к определенной разнице в данных о концентрации радионуклидов между пробами, отобранными на месте в ходе указанных выше операций, и гораздо более крупными массивами данных, накопленных французскими специалистами в течение многолетнего мониторинга окружающей среды. С учетом прошлого аналитического опыта в МАГАТЭ ожидали появления определенных различий по разным причинам, а поэтому перекрытия в диапазоне оценок можно было рассматривать в качестве хорошего показателя согласованности данных.

Результаты, полученные в ходе исследования на атолле Муруроа, были подвергнуты сравнению с французскими результатами в том, что касалось диапазонов радиоактивности. Обобщенные данные по полученным в результате наблюдений диапазонам для плутония-239, 240 и цезия-137 показывают, что для большинства сочетаний изученных мест и видов проб отмечается перекрытие диапазонов, а следовательно, и удовлетворительная согласованность данных. Тем не менее наблюдались и отдельные несовпадения. Несмотря на их низкую значимость с точки зрения радиологической опасности, представляется все же целесообразным их кратко обсудить. Измеренная активность аэрозольных концентраций для изотопов плутония в районе Ирэн (западная часть аэродрома) равнялась 2 мБк/м³, в то время как по французским

данным в восточной части аэродрома (Кати) она составляла 0,11 мБк/м³. Это можно объяснить тем, что при строительстве аэропорта французы использовали зараженные обломочные породы из района Колетт, поэтому идентификация определенного количества взвешенных частиц в пробах воздуха, приводивших в отдельных случаях к повышению радиоактивности, не была неожиданной.

В районе Фокон концентрация плутония-239, 240 в трех пробах поверхностного почвенного слоя составила от 1200 до 1600 Бк/кг, что существенно превышает аналогичные французские данные, колебавшиеся в диапазоне от 0,6 до 360 Бк/кг. Подобную разницу можно объяснить некоторой неравномерностью распределения радионуклидов в данном районе.

Вблизи района, где проводились проверочные испытания безопасности зарядов (Колетт), были выявлены скопления радиоизотопов и высокоактивные частицы, содержащие плутоний-239 и америций-241 (см. соответствующую статью на стр. 43). Измеренные поверхностные концентрации плутония-239 и америция-241 примерно в два — шесть раз превышали аналогичные французские данные за 1987 г. Они составили от 1 до 3 МБк/м² для плутония-239 и от 20 до 70 кБк/м² для америция-241.

Подобная разница объяснялась различными методами измерений, применявшимися международной группой МАГАТЭ и французскими учеными. Специалисты международной группы, проводившие более ограниченную серию измерений, применяли метод гамма-спектроскопии in situ, требующий значительно больших затрат времени, и использовали германиевый детектор с высокой разрешающей способностью, размещавшийся на фиксированном расстоянии от земли (1 м) и работавший на

основе учета разницы в энергиях гамма-излучения плутония-239 и америция-241. Исходя из этого, уровни радиации, полученные группой специалистов МАГАТЭ, можно считать более репрезентативными для тогдашней ситуации.

Упомянутые выше измерения показали также, что коэффициент активности плутония-239, 240 по отношению к америцию-241 группировался вокруг двух значений — 45 и 60, что объяснялось, по-видимому, различиями в возрасте и чистоте плутония, применявшегося в проверочных испытаниях безопасности зарядов. Следует, однако, отметить, что дозы внешнего облучения, рассчитанные с помощью гамма-спектроскопических измерений in situ, составляли лишь несколько сотен микрозивертов (мкЗв) в год.

Наивысшие концентрации цезия-137 и стронция-90 были измерены международной группой в молоке и копре кокосовых орехов в районе Кило на атолле Фангатауфа. Данные уровни радиоактивности могут рассматриваться как не представляющие интереса с точки зрения радиационной опасности: они намного ниже (примерно на три порядка) уровней естественной радиоактивности калия-40, обнаруженной во всех пробах молока кокосовых орехов.

Международная группа провела измерения уровней активности плутония-239, 240, цезия-137 и стронция-90 в пробах почвы, растений и молока кокосовых орехов на обитаемом атолле Турейя. В целом все они оказывались низкими и не представляющими радиационной опасности.

В заключение следует отметить, что, как было установлено, уровни концентрации активности, измеренные в ходе операций по отбору наземных проб, согласуются с французскими данными и, как таковые, могут рассматриваться в качестве пол-

ных и надежных данных по уровням активности искусственных радиоактивных материалов в наземной окружающей среде на атоллах.

МОРСКИЕ ОПЕРАЦИИ

Мандат морской рабочей группы, работа которой координировалась ЛМС, включал анализ представленных французскими официальными органами данных по распределению радионуклидов в литоральной и сублиторальной окружающей среде на атоллах. При этом преследовалась двойная цель: проведение нового достаточно полного и независимого мониторинга окружающей среды на атоллах и вокруг них с целью оценить достоверность имеющихся французских данных. Одновременно мониторинг должен был обеспечить получение набора репрезентативных и высококачественных данных по концентрациям радионуклидов в окружающей морской среде в настоящее время.

Экспедиция по отбору морских проб в районе атоллов Муруроа и Фангатауфа состоялась в период с 1 по 27 июля 1996 г. Работа экспедиции заключалась в отборе релевантных и сравнимых проб воды, биоты и отложений в лагунах атоллов, а также в окружающем их океане. Полученные результаты в сочетании с более ранними взаимосравнимыми данными МАГАТЭ, достоверность которых была оценена путем взаимосравнений в 1994 г., были использованы для проверки достоверности гораздо более многочисленных данных, полученных в ходе французских операций по мониторингу окружающей среды.

В операциях по отбору проб морской среды принимали участие пять исследователей из лабораторий государств — членов МАГАТЭ и четыре — из ЛМС. Данная группа проводила параллельную работу на пяти судах одновременно. Предварительная обработка образцов осу-

шествовалась в четырех лабораториях на Муруроа, действовавших независимо друг от друга.

Аналогично наземной кампании все пробы отбирались в трех экземплярах. Всего было отобрано свыше 300 проб (вода из лагун, океаническая вода, вода из пористых пустот отложений, отложения, кораллы и биота). Около 13 тыс. л водных и 1 т твердых отобранных, обработанных и упакованных проб были направлены в Монако для распределения между десятью аналитическими лабораториями в восьми странах.

Для измерения *in situ* гамма-активности в отложениях использовался метод подводной гамма-спектрометрии. Цель данного обследования заключалась в выявлении наиболее зараженных районов, с тем чтобы определить последующий отбор проб, который проводился внутри лагун атоллов Муруроа и Фангатауфа. Поскольку неровная поверхность дна не позволяет буксировку бентонных приборов, измерения проводились на дискретной сетке точек, которые в большинстве случаев создавались в поперечных сечениях районов наибольшего заражения, определенных французами.

В процессе обследования рабочая группа произвела оценку скоростей счета гамма-квантов для кобальта-60 и цезия-137, распределение которых в лагунных отложениях ввиду их различного происхождения и геохимии не всегда обязательно совпадает с распределением плутония. Предыдущие французские исследования, однако, показали, что они соотносятся со схемами распределения плутония.

По результатам обследования были отобраны пробы в местах, считающихся в локальных масштабах максимально зараженными. Позже были проведены калибровочные и корреляционные анализы с целью расчета инвентарных количеств кобальта-60 и

цезия-137 на основе измерений *in situ*, а также для оценки инвентарных количеств кобальта-60 и плутония-239, 240 в лагунных отложениях.

Исключительно сложная подводная гамма-спектрометрия оказалась эффективным методом идентификации на месте участков морского дна с наивысшими уровнями заражения. В противном случае данный процесс потребовал бы больших затрат времени на последовательный отбор проб, их подготовку и определение числа отсчетов.

Эту аналитическую работу выполняла сеть морских лабораторий. В дополнение к ЛМС МАГАТЭ данная сеть включала шесть имеющих высокую международную репутацию лабораторий, поставляющих высококачественные данные, в Австралии, Дании, Германии, Новой Зеландии, Соединенном Королевстве и Соединенных Штатах. Все они принимали участие в проведенных ЛМС регулярных занятиях по взаимному сличению результатов и в специально организованных проверках квалификации показали высокое мастерство в выполнении своей конкретной аналитической работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОРСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Морские операции подтвердили обширные массивы уже имеющих данных и дополнили их новой научной информацией. Было установлено, что концентрации активности радионуклидов в водной окружающей среде являются обычно низкими и сравнимы с известными французскими данными.

Остаточные стронций-90 и цезий-137 поддавались измерению в окружающей среде обеих лагун, но их концентрации оказались исключительно низкими. Типичные уровни радиации составили: в лагунных водах — около 2 Бк/м³ (лишь минимальное превышение уровня, преобладающего обычно в

южной части Тихого океана вследствие глобальных выпадений), в рыбе из лагун — менее 0,3 Бк/кг для цезия-137 и еще намного ниже — для стронция-90 (в порядке сравнения, активность природного радиоактивного калия-40 в рыбе составляет примерно 100 Бк/кг).

Самый значительный вклад в дозы облучения гипотетических обитателей атолла Муруроа вносил бы плутоний-239, 240. Уровни плутония составили около 0,3 Бк/м³ в лагунных водах, 0,01 Бк/кг — в рыбе, 0,08 Бк/кг — у ракообразных и 0,8 Бк/кг — в моллюсках из лагуны (приблизительно сто-кратное превышение концентраций этих радионуклидов в океане и в сравнимой океанической биоте, обусловленных глобальными выпадениями). Однако с радиологической точки зрения все эти концентрации радиоактивности являются очень низкими и не имеют радиологического значения.

Анализы установили наличие временной тенденции в концентрациях трития, стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240 в лагунных водах. Удержание радиации не было одинаково эффективным для всех 137 подземных ядерных испытаний, и повышенные концентрации трития, сохранявшиеся в течение ряда лет, свидетельствуют о наличии его утечки в обеих лагунах. Это подтверждается данными Французского управления по связи по уровням трития и его распределению в карбонатной породе обеих атоллов.

Произведенные в 1996 г. измерения показывают, что в уровнях содержания трития в лагунах намечается тенденция к их снижению (однако в лагуне Муруроа это снижение может прекратиться и начнется повышение уровня трития по мере поступления в лагунные воды все большего количества трития, образовавшегося в результате подземных ядерных испытаний).

Уровни стронция-90 в настоящее время показывают незначительную тенденцию к повышению. Уровни цезия-137 и плутония-239, 240 снижаются уже в течение нескольких лет, притом быстрее, чем этого можно было ожидать только в результате радиоактивного распада.

Плутоний-239, 240 является преобладающим радионуклидом, обнаруженным в лагунах отложений. Его поверхностные концентрации колебались от примерно нескольких десятков Бк/кг в отложениях центральной части лагун до нескольких тысяч Бк/кг в местах наивысшей радиоактивности в районах Дениз и Дэндон на атолле Муруроа и Фрегат на атолле Фангатауфа — «горячих точках», оставшихся после проводившихся на баржах испытаний. Самые высокие концентрации плутония-239, 240 отмечались в береговых отложениях в районе Колетт (примерно до 500 000 Бк/кг), зараженных в результате проверочных испытаний безопасности зарядов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В целом кампании по отбору проб в рамках исследования атоллов Муруроа и Фангатауфа показали, что как в их наземной, так и в водной окружающей среде, доступных для людей, содержатся остаточные радиоактивные материалы, обусловленные ядерными испытаниями. Однако их концентрации являются обычно низкими и не имеют никакого значения с радиологической точки зрения.

Тем не менее заслуживают быть отмеченными отдельные

характерные особенности, радиологические аспекты которых могут представлять интерес:

■ В целом отмечается достаточно хорошее соответствие результатов, полученных в рамках исследования, и французских данных. По сравнению с французскими данными наблюдалось снижение концентраций радионуклидов в лагунах. Концентрации радионуклидов в биоте являются низкими и согласуются с прошлыми французскими данными и данными МАГАТЭ.

■ Содержащие плутоний и небольшие количества америция частицы, образовавшиеся в результате атмосферных проверочных испытаний безопасности зарядов, сохраняются в районах испытательных площа-

док — моту Колетт, Ариель и Веста на атолле Муруроа.

■ Повышенные уровни цезия-137 (около 1 кБк/кг) наблюдались на небольших участках общей площадью в несколько гектаров участка Кило-Амперер на кольце атолла Фангатауфа.

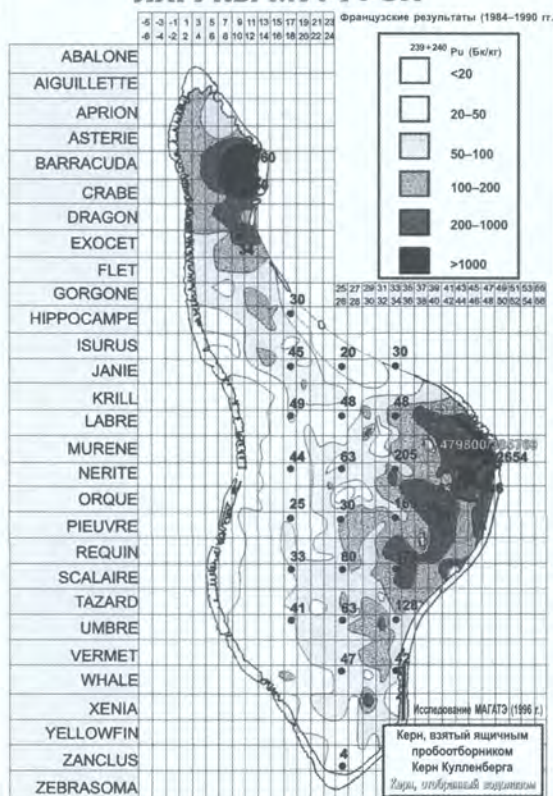
■ Несколько килограммов плутония, образовавшегося на атоллах в результате ядерных испытаний в атмосфере, остаются в отложениях под лагуной каждого атолла. Некоторое количество плутония в отложениях лагуны атолла Муруроа образовалось вследствие проверочных испытаний безопасности зарядов в атмосфере. Общее инвентарное количество плутония-238 и 239, 240 в обеих лагунах оценивается примерно в 30 ТБк. Инвентарные количества америция-241, цезия-137, евро-

пия-155 и кобальта-60 не превышают 1 ТБк (для каждого).

■ Концентрации трития, стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240 в каждой лагуне оказались выше, чем в открытом океане, вследствие выщелачивания донных отложений (последние три радионуклида) и поступлений из подземных источников (первые два радионуклида). Расчетные уровни выхода радионуклидов из обеих лагун в открытый океан составили (в ТБк/год): 6 — для трития; 0,03 — для стронция-90; 0,01 — для цезия-137; 0,01 — для плутония-238 и плутония-239, 240.

■ Коэффициенты распределения и концентрации, применявшиеся для обеих лагун, оказались в диапазонах рекомендованных МАГАТЭ значений.

КОНЦЕНТРАЦИИ ПЛУТОНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛАГУНЫ МУРУРОА



На рисунке показаны концентрации активности плутония-239, 240, измеренные во время французских операций по мониторингу окружающей среды и в рамках исследования МАГАТЭ в 1996 г. Данные, помеченные точками, относятся к исследованию.

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОСФЕРЕ

РОБЕРТ ФРАЙ, ДЕС ЛЕВИНС И ЭРНСТ ВАРНЕККЕ

После прекращения ядерных испытаний в атмосфере в 1974 г. французское правительство в период с 1975 по 1996 г. провело еще 147 ядерных экспериментов под атоллами Муруроа и Фангатауфа. Десять из них были проверочными испытаниями безопасности зарядов (при имитации аварийных условий) с незначительным выходом продуктов деления или без него.

Ни одно ядерное устройство очень высокой мощности не было взорвано под землей на атоллах Муруроа и Фангатауфа. Ни одно из них по мощности не превышало 150 килотонн. По сообщениям французского правительства, суммарный выход энергии в результате всех подземных испытаний составил 3,2 мегатонны (см. таблицу на стр. 32). В мире было произведено в целом свыше 1800 подземных ядерных испытаний, суммарная мощность которых составила 90 мегатонн, что в 30 раз превышает объявленную мощность французских подземных испытаний.

При ядерных испытаниях в атмосфере большая часть радиоактивных материалов рассеивается в верхних слоях атмосферы и в конечном счете оседает глобально в виде выпадений. При подземных испытаниях, наоборот, основная масса остаточных радиоактивных материалов удерживается породой, в которой размещался заряд, хотя при этом и остается потенциальная возможность выхода радионуклидов в локальную окружающую среду. При оценке радиологических последствий подземных испытаний необходимо рассчитывать возможные в будущем выходы радионуклидов из геосферы в доступную окружа-

ющую среду на протяжении периодов времени, обычно охватывающих 10 тыс. или более лет.

Расчет уровней выхода радионуклидов из геосферы являлся одной из самых сложных и трудных задач в рамках общего исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа. Хотя геологическая среда на атоллах во многих отношениях является уникальной, методология, использованная в исследовании, пригодна для оценки миграции радионуклидов из других мест подземных ядерных испытаний.

ГЕОЛОГИЯ АТОЛЛОВ

С воздуха атоллы кажутся тонкими кольцами кораллов, выступающими всего лишь на несколько метров над уровнем моря. В действительности же они представляют собой массивные вулканические подводные горы, поднимающиеся примерно на 4 км со дна моря и покрытые несколькими сотнями метров карбонатной горной породы, образованной коралловыми приращениями.

Вулканические извержения, приведшие к образованию атоллов, происходили примерно 11 млн. лет назад. Питаемые горячей зоной в земной коре вулканы росли в размерах, достигая поверхности океана и продолжая действовать в течение некоторого времени в качестве субаэральных вулканов. После прекращения вулканической деятельности эти структуры медленно оседали за счет своей огромной тяжести и изостатического состояния лежащей в их основе Тихоокеанской плиты. В ледниковые периоды уровень моря снизился почти на 120 м, уничтожая кораллы и подвергая карбонатную горную породу воз-

действию эрозии и выщелачиванию дождевой водой. Всего вероятнее, что карсты (взаимосвязанные области высокой проницаемости), встречающиеся в карбонатных горных породах, образовались в эти ледниковые периоды.

В настоящее время вулканические горные породы увенчаны шапкой из карбонатной породы высотой до 450 м, нижняя часть которой превратилась в доломит вследствие диагенетических обменных процессов с окружающей морской водой.

Вулканическое основание атолла включает разветвленную сеть преимущественно линейных расщелин различных размеров. Проводящие пути образовывались благодаря действию самых разных механизмов, таких как крупномасштабные интрузии магмы, усадка пород вследствие охлаждения, образование более широких разломов (дайки и силли) инъекциями магмы, имевшими место после охлаждения первичной вулканической горной породы. Эта сеть разломов является главным каналом переноса воды (и радионуклидов).

Стенки первоначально крупных каналов в базальте подвергаются химическому изменению

Г-н Фрай был руководителем технического проекта МАГАТЭ по исследованию радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа. Г-н Левинс, сотрудник Австралийской организации по ядерной науке и технике, был председателем Целевой группы В в рамках исследования. Г-н Варнекке, сотрудник Отдела радиационной безопасности и безопасности радиоактивных отходов МАГАТЭ, входил в Рабочую группу 3.

под воздействием проточной воды, что с течением времени может привести к частичной закупорке каналов продуктами этих изменений, такими как глина и кальциты. У этих продуктов, как правило, большая площадь поверхности и отличные удерживающие свойства в отношении некоторых радионуклидов, в частности актинидов, поэтому они играют важную роль в замедлении процесса переноса радионуклидов через геосферу.

ЯДЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И МЕСТА ИХ ПРОВЕДЕНИЯ

В процессе подземного ядерного взрыва вулканическая порода атоллов в непосредственной близости от центра детонации подвергается плавлению и испарению, при этом образуются примерно сферическая полость и на дне полости — принимающая форму линзы масса расплавленной вулканической породы, которая по мере охлаждения превращается в стеклообразную лаву.

Масса испарившегося во время взрыва материала составляет около 80 т на килолону мощности. Количество лавы, образованной во время взрыва, колеблется от 500 до 1000 т на килолону мощности, в зависимости от характера породы и содержания в ней влаги.

Французские официальные органы не предоставили исследовательской группе информации о точном расположении площадок по каждому из 147 подземных взрывов. Однако они обеспечили ее схематическим планом каждого атолла с указанием зон испытаний, количества испытаний, максимальной мощности и суммарной мощности взрывов в каждой зоне.

Все ядерные испытания проводились в вулканических породах на глубинах от 500 до 1100 м. Все десять взрывов, проведенных в рамках проверочных испытаний безопасности зарядов, были проведены в одной зоне на атолле Муруроа, при этом семь из них — в карбонатных породах

на глубинах ниже 280 м. Три из указанных проверочных испытаний, проведенных в карбонатных породах, имели незначительный выход продуктов деления.

Не все испытания были в равной степени эффективными с точки зрения удержания радионуклидов, образовавшихся во время ядерных взрывов. В расчетных целях дискретные источники радиации по энергетическому уровню были разбиты на семь категорий:

Категория 1. 121 обычное испытание, при проведении которых поверх каждого испытательного столба обрушения в целях обеспечения хорошей герметизации сохранялся слой по преимуществу неповрежденной вулканической породы необходимой толщины.

Категория 2. Четыре испытания в вполне достаточной толщиной покрывного слоя, но, однако же, с определенной неадекватностью вулканического покрытия.

Категория 3. Двенадцать испытаний, в которых столб обрушения достигал вершины вулканической горной породы.

Категория 4. Три проверочных испытания безопасности зарядов, в которых отмечался (очень низкий) выход продуктов деления, на глубине по крайней мере 280 м в карбонатной породе.

Категория 5. Четыре проверочных испытания безопасности зарядов на глубине по крайней мере 280 м в карбонатной породе без выхода продуктов деления.

Категория 6. Три проверочных испытания безопасности зарядов в вулканической породе без выхода продуктов деления.

Категория 7. Два шахтных ствола для отходов, пробуренных глубоко в вулканической породе, в каждый из которых были удалены отходы, содержавшие 3,7 кг плутония.

Практически было установлено, что основную массу выхода радиоактивных продуктов в биосферу следует отнести на счет четырех категорий: 2, 3, 4 и 5.

ИНВЕНТАРНОЕ КОЛИЧЕСТВО РАДИОНУКЛИДОВ

Первым шагом в расчетах уровня миграции радионуклидов является определение инвентарного количества радионуклидов под землей. Французские ученые предоставили верхние предельные значения по выходу продуктов деления для каждой зоны испытаний. Эти данные подвергались независимой проверке с использованием независимых сейсмических данных по каждому испытанию, полученных с сейсмической станции Раротонга на островах Кука. Была отмечена отличная согласованность французских данных с оценками МАГАТЭ, что позволяло с большой долей вероятности утверждать, что французские верхние пределы в действительности очень близки к реальным значениям.

Инвентарное количество радионуклидов рассчитывалось на основе выхода продуктов деления, при этом делались допустимые предположения о соотношении энергии деления плутония-239, урана-235, урана-238 и энергии синтеза изотопов водорода. Указанные расчеты также хорошо согласовывались с данными, предоставленными французскими официальными органами (см. таблицу на стр. 32).

ГИДРОГЕОЛОГИЯ АТОЛЛОВ

Как вулканические, так и карбонатные зоны атоллов насыщены водой. По существу, циркуляция грунтовых вод в атолле определяется подъемными силами, обусловленными нагревающими систему снизу геотермальными потоками. Холодные и более плотные океанические воды проникают на глубине с боков атолла, движутся к центральному более теплым областям, постепенно нагреваются, становятся легче и поднимаются вверх в направлении лагуны. Высокая проницаемость внутри карбонатных формаций способствует прохождению мощных почти гори-

зонтальных центростремительных потоков холодной воды.

В результате ядерного взрыва естественное доиспытательное состояние гидрологии вблизи кратера меняется вследствие повышения проницаемости и нагревания воды и породы. Это приводит к усилению восходящего потока воды из кратера в направлении доступной окружающей среды.

После установления теплового баланса температура в кратере превышает температуру окружающей среды примерно на 25—50°C. Такой рост температуры, по существу, не зависит от мощности взрыва. Температура в кратере будет медленно снижаться в течение нескольких сот лет вследствие комбинированного воздействия процессов конвекции и теплопроводности.

Что касается потоков подземных вод под атоллom Муруроа, то скорости их движения являются наиболее высокими в районе каждого испытания и в карбонатных породах с повышенной проницаемостью. Кроме того, потоки в карбонатных породах подвергаются воздействию приливно-отливных флуктуаций, которые фактически перемешивают воду в карбонатных зонах (особенно в карстах), влияя тем самым на уровень выброса радионуклидов как в лагуну, так и непосредственно в океан.

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

Прежде чем начать мигрировать в геосфере, радионуклиды должны присутствовать в водной фазе. Ввиду высоких давлений на глубине летучие или газообразные радионуклиды (такие как тритий, благородные газы и йод), присутствовавшие ранее в газообразной фазе, растворяются в воде.

Большинство радионуклидов, однако, либо удерживается лавой, либо сорбируется на обломках породы. Экспериментальные данные показывают, что выделение радионуклидов из лавы и обломков породы осу-

ИНВЕНТАРНЫЕ КОЛИЧЕСТВА ОТДЕЛЬНЫХ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ НА АТОЛЛАХ МУРУРОА И ФАНГАТАУФА

Радионуклиды	Данные исследования (ТБк)		
	Муруроа	Фангатауфа	Всего
Тритий	232 000	48 000	280 000
Углерод-14	25	2,6	28
Хлор-36	1,3	0,4	1,7
Кальций-41	1,0	0,3	1,3
Никель-59	2,9	0,9	3,8
Никель-63	340	110	450
Селен-79	0,008	0,003	0,011
Криптон-85	670	380	1 000
Стронций-90	7 300	3 500	10 800
Цирконий-93	0,23	0,09	0,32
Технеций-99	1,9	0,6	2,5
Палладий-107	0,18	0,03	0,21
Йод-129	0,0047	0,0014	0,0061
Цезий-135	0,20	0,07	0,27
Цезий-137	10 700	4 100	14 800
Европий-152	230	100	330
Нептуний-237	0,22	0,03	0,25
Плутоний-238	185	15	200
Плутоний-239	1 030	70	1 100
Плутоний-240	280	20	300
Плутоний-241	6 200	620	6 800
Америций-241	350	30	380

СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТОВ МОЩНОСТЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Место испытания	Общая энергия (эквивалент в килотоннах ТНТ)		
	Число испытаний	Расчеты в рамках исследования	Французские данные
Атолл Муруроа	83	970	<1060
Лагуна Муруроа	54	1443	<1450
Атолл Фангатауфа	2	39	<20
Лагуна Фангатауфа	8	731	<750
Всего	147	3183	<3280

ществляется посредством разных механизмов. Выщелачивание лавы является медленным, малоинтенсивным процессом, в то время как выделение из обломков породы предполагает равновесно контролируемый процесс взаимодействия между грунтовыми водами и радионуклидами, сорбированными твердой поверхностью.

Для оценки скорости переноса радионуклидов из образованного взрывом кратера в карбонатные формации в исследовании использовалась модель двойной пористости. Расчеты делались для 32 радионуклидов, но особое

внимание было уделено четырем ключевым радионуклидам — плутонию-239, цезию-137, стронцию-90 и тритию.

В рамках анализа была инициирована программа независимого отбора проб грунтовых вод. Это было сделано с целью проверки результатов более крупномасштабных измерений, сделанных французскими учеными, а также с целью сравнения сделанных исследовательской группой прогнозов с измеренными концентрациями радионуклидов. Были взяты пробы воды из двух кратеров, образовавшихся в результате испытаний, и из карбонат-

ных формаций в девяти других местах.

Была отмечена хорошая согласованность между французскими данными и результатами, полученными в рамках исследования. Концентрации плутония оказались или на пределе обнаружения, или не обнаруживались вообще, даже в кратерах. Был сделан вывод, что плутоний реально удерживается стеклообразной лавой, образующейся в результате ядерного взрыва, хотя в исследовании придерживались консервативного первоначального предположения о том, что 5% радионуклидов осаждаются в обломках породы.

На основе результатов взятия проб грунтовых вод были сделаны расчеты инвентарных количеств радионуклидов в пределах конкретных зон карбонатных формаций. Выход радионуклидов из карбонатных формаций в геосферу может осуществляться либо посредством восходящего потока грунтовых вод в лагуну, либо посредством потока вдоль карстовых слоев и в океан на глубине около 300 м.

Хотя карбонатные формации и отличаются хорошей проницаемостью, они в то же время являются крупными водными резервуарами, среднее время пребывания которых в немигрирующем состоянии значительно больше времени полураспада отдельных радионуклидов, таких как тритий, стронций-90 и цезий-137.

Для описания выхода радионуклидов в биосферу оценивались две модели: модель одинаковой пористости и модель смешивания.

В модели смешивания выход радионуклидов в лагуны или в океан пропорционален их инвентарному количеству в карбонатах. Для случая выхода радионуклидов в лагуны константа пропорциональности может быть рассчитана по результатам оценки текущего инвентарного количества трития в карбонатных формациях и измерения уровня повышения содержания трития в лагунах; это соответствует

выходу примерно 0,12% инвентарного количества в год. Что касается выхода радионуклидов в океан, то этот уровень, по расчетам на основе ограниченных данных по латеральному рассеянию трития в карбонатах, составляет приблизительно 5% в год.

С использованием модели смешивания для выхода радионуклидов из карбонатов и модели двойной пористости для их переноса сквозь вулканические породы были рассчитаны инвентарные количества в карбонатах и уровни выхода радионуклидов в биосферу на сотни лет вперед для трития, стронция-90 и цезия-137, а также на период более 100 тыс. лет — для плутония-239.

Важнейший вывод из этих прогнозов заключается в том, что уровни выхода трития, стронция-90 и цезия-137 в лагуны в будущем, по всей видимости, не превысят этих уровней в настоящее время. Максимальные прогнозируемые уровни выхода радионуклидов в океанические глубины уже подтвердились.

В отношении плутония-239 максимальные уровни выхода радионуклидов из подземных источников прогнозируются на период от 5 тыс. до 10 тыс. лет в будущем, но ожидается, что они будут ниже, чем нынешние уровни их выхода в лагуны, вследствие выщелачивания содержащих плутоний отложений.

Уровни выхода радионуклидов в лагуны и океан, прогнозированные с помощью описанных выше моделей, использовались в качестве исходного материала в моделировании рассеяния радионуклидов в морской среде и, наконец, в расчете доз облучения от этих радионуклидов (см. соответствующие статьи на стр. 34 и 38).

ВЫВОДЫ

Основные выводы из оценки миграции радионуклидов из подземных источников на атоллах Муруроа и Фангатауфа следующие:

■ Полученные в рамках исследования независимые расчеты выделения энергии и инвентарных количеств радионуклидов, образовавшихся в результате подземных ядерных испытаний, хорошо согласуются с объявленными французскими данными.

■ Ядерные испытания приводят к повышению проницаемости в породах, прилегающих к месту взрыва.

■ В вулканических и карбонатных породах существует естественный восходящий поток грунтовых вод, который поднимается выше всего в непосредственной близости к месту ядерного взрыва.

■ Отбор и анализ проб подземных вод из двух кратеров, образованных взрывом, показали очень низкие концентрации плутония. Большая часть плутония (>99%) эффективно удерживается затвердевшей стеклообразной лавой, образовавшейся после ядерного взрыва.

■ Карбонатные зоны подвергаются воздействию приливно-отливных флуктуаций, которые могут привести к определенному высвобождению радионуклидов непосредственно в океан на глубине.

■ Большая часть выбросов радионуклидов непосредственно или вскоре после взрыва происходит в тех относительно немногих случаях, когда отсутствует вулканическое покрытие над кратером или когда такое покрытие оказывается дефектным.

■ Лишь весьма незначительная часть инвентарного количества радионуклидов попадает из геосферы в доступную окружающую среду. Наивысшие уровни высвобождения радионуклидов (с точки зрения их активности) следует отнести на счет трития, но они не имеют радиологического значения. Уровни высвобождения других радионуклидов обычно не поддаются определению в окружающей среде по причине их растворения в лагунах и океане до пренебрежимо малых концентраций.

ОТ АТОЛЛОВ В МОРЯ

ПАВЕЛ ПЕТЕР ПОВИНЕК И ЭККЕХАРД МИТТЕЛЬШТЕДТ

Моделирование переноса радионуклидов через морскую окружающую среду представляет сложную задачу. В рамках исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа ученые занимались рассмотрением проблемы рассеяния радионуклидов после их высвобождения из лагун Муруроа и Фангатауфа и из подземных источников. Изучение охватывало процессы смешивания радионуклидов в лагунах, их выхода в океан и переноса к побережью соседних островов и отдаленных континентов.

В данной статье освещается проведенная в ходе исследования работа по оценке рассеяния остаточных радионуклидов в океане и кратко излагаются основные выводы.

МЕТОДОЛОГИЯ И ПОДХОДЫ

В целях моделирования пространство вокруг источника радиоактивности (т. е. вокруг точки, в которой радионуклиды высвобождаются в морскую окружающую среду) было разделено на три основные зоны: ближнее поле (лагуну), региональное поле (в широком смысле район Французской Полинезии) и дальнее поле (территория южной части Тихого океана за региональным полем).

Для понимания динамики взаимодействия воды и отложений в ближнем поле рабочая группа по моделированию морской среды разработала в рамках исследования две модели. Модель смешивания воды использовалась для оценки концентраций радионукли-

лидов в лагунах в отношении заданных поступлений из подземных источников в лагуны, а также для оценки скоростей потоков радионуклидов из лагун в окружающий океан.

Модель отложений была разработана в целях прогнозирования движения отложений между лагунами и океаном. Были сделаны оценки объемов отложений и соответствующего количества плутония, поступающих ежегодно из лагун в океан при средних погодных условиях или в условиях жестокого шторма.

Были рассчитаны уровни высвобождения радионуклидов из лагунных отложений, на основании которых были выведены оценки уровней высвобождения плутония, цезия-137, стронция-90 и трития из лагун в океан как функции времени.

Для моделирования рассеяния радионуклидов в региональном поле использовались три секторальные модели. Эти модели охватывали разные области с разным разрешением. Каждая из них имела свои достоинства и недостатки. Взятые вместе, они указывают на возможную неопределенность в оценках рассеяния и повышают устойчивость окончательных выводов.

Перенос и рассеяние радионуклидов в дальнем поле оценивались с использованием прогностической модели циркуляции в Мировом океане.

Выходные данные этих моделей представляют собой оценку концентрации радионуклидов в океане как временно-пространственной функции. Эти концентрации использовались для расче-

та доз облучения как реальных, так и гипотетических лиц в различных местах и в различные периоды в будущем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАГУН

Радионуклиды в лагунных водах появляются вследствие выщелачивания радиоактивных материалов из донных отложений в лагунах и миграции материалов из подземных источников. Их концентрации в водах лагун определяются с учетом скорости их поступления в лагуну и обмена лагунных вод с океаном. При поступлении радионуклидов в лагуну первыми двумя стадиями процесса рассеяния являются смешивание в лагуне и обмен лагунных вод с океаном. Была разработана гидродинамическая модель циркуляции в лагуне и рассчитано среднее время обмена лагунных вод с океаном. Время такого водообмена, усредненное для всех времен года, по оценке, составило 98 ± 37 дней и 33 ± 12 дней для лагун Муруроа и Фангатауфа, соответственно.

Окончательная судьба незатвердивших отложений на дне

Г-н Повинек — руководитель Радиометрической секции Лаборатории морской среды МАГАТЭ в Монако.

Г-н Миттельштедт, Федеральное морское и гидрографическое агентство Германии, был председателем Рабочей группы по моделированию морской среды в рамках исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа.

лагуна (и содержащегося в них плутония) является важной с точки зрения оценки долгосрочных последствий радиационной обстановки на атоллах.

Для лагуны Муруроа была разработана модель переноса отложений; на ее основе был сделан предварительный расчет объема среднего годового переноса донных отложений через пролив в океан, который составил 80 тыс. т в год. Циклонический шторм, однако, в состоянии переместить очень большие объемы донных отложений из лагуны — один такой шторм может переместить около 4×10^6 т отложений, в основном через край кольца атолла.

Годовой эквивалентный уровень поступления плутония из данного источника, по оценке, составляет порядка 0,1 ТБк. Ожидается, что энергетический уровень данного источника, реальный период полураспада которого составляет около десяти лет, уменьшится, поскольку содержащиеся плутоний отложения будут постепенно заноситься новыми осадочными породами.

УРОВНИ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

В качестве наиболее важных при моделировании рассматривались четыре радионуклида (триций, стронций-90, цезий-137 и плутоний-239, 240). Аналитики принимали во внимание поступление радионуклидов как в результате выщелачивания лагунных отложений, так и из подземных источников.

Никаких поступлений трития (период полураспада 12,3 года), наблюдаемого в форме воды, из отложений не отмечалось. Наблюдаемые концентрации (около 200 Бк/м³, двойное превышение по сравнению с океаническим фоном) относятся исключительно на счет подземных источников. Концентрации трития в ла-

гунах могут остаться относительно постоянными в течение ближайших нескольких десятилетий, прежде чем начнут медленно снижаться.

В отношении стронция-90 предполагается, что его концентрации образуются за счет как выщелачивания, так и подземных источников. Несмотря на отмеченный существенный разброс в прошлых данных по стронцию-90, представляется, что в течение нескольких десятилетий концентрации этого радионуклида могут превысить нынешние уровни, однако не более чем в два раза.

Что касается цезия-137, то его поступления из подземных источников в настоящее время связаны в некоторой степени с выщелачиванием отложений. Его концентрации в лагунах снижаются с учетом периода полураспада примерно в семь лет, и маловероятно, чтобы они превысили нынешние уровни в обозримом будущем.

В случае с плутонием выщелачивание лагунных отложений является сейчас единственным значительным источником его поступлений. На основе наблюдений сделан вывод, что концентрации плутония в лагунах будут снижаться с учетом периода его полураспада примерно в десять лет.

На основании измерений этих радионуклидов в лагунах и в открытом океане, проведенных морской рабочей группой, были сделаны расчеты нынешних уровней их высвобождения из лагун и прогнозы на будущее. Атоллы Муруроа и Фангатауфа в качестве отдельных источников не рассматривались, поскольку в океанических масштабах они столь близки, что различить их невозможно. Высвобождение радионуклидов через лагуны рассматривается в качестве поверхностного; считается, что высвобождение их непосред-

ственно в океан происходит на глубине около 400 м.

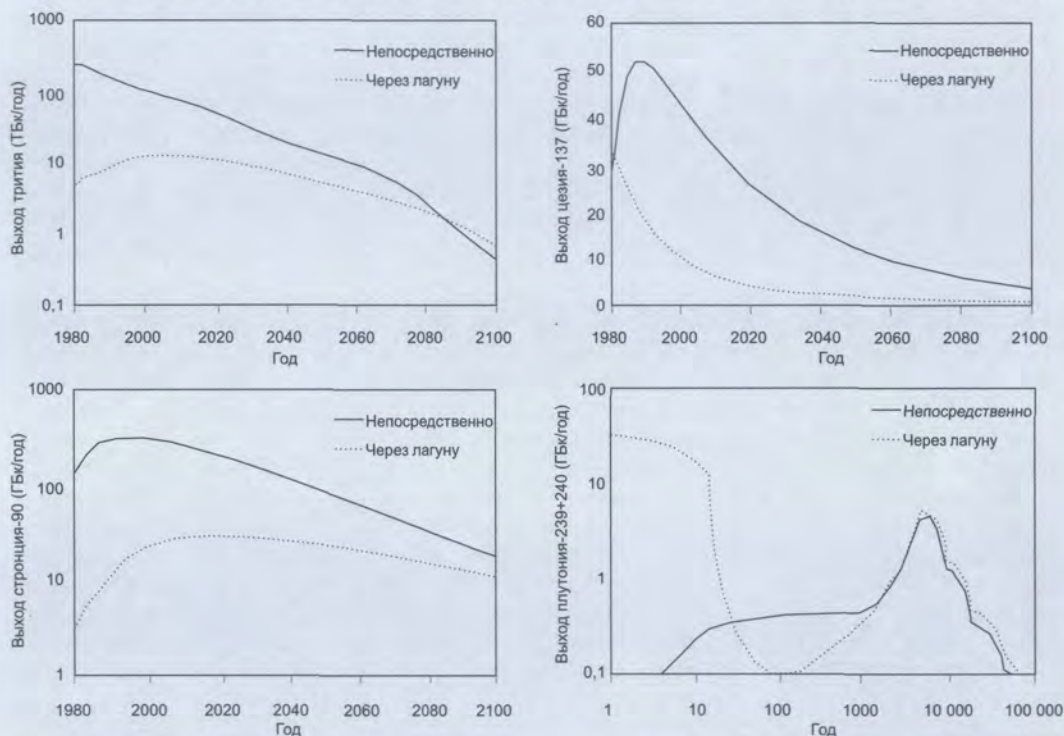
Суммарные уровни выделения стронция-90 и цезия-137 будут со временем снижаться с преобладающим поступлением этих радионуклидов из подземных источников непосредственно в океан (см. диаграммы на стр. 36). С другой стороны, в случае с плутонием, который будет мигрировать очень медленно, вклад подземных источников достигнет своего пика примерно через 6 тыс. лет и на гораздо более низком уровне, чем в настоящее время.

В случае какого-либо предполагаемого разрушительного события, например обвала карбонатной породы с мгновенным выбросом радионуклидов в морскую среду из подземных источников, расчетные выбросы составили 1 ПБк для трития, 30 ТБк для цезия-137, 10 ТБк для стронция-90 и 10 ТБк для плутония-239, 240.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РАССЕЙНИЯ

Для оценки рассеяния радионуклидов в региональном масштабе были разработаны три секторальные модели. Данная оценка охватывала такие близкие соседние атоллы, как Турейя, и такие отдаленные, как Таити; она проводилась на долгосрочную перспективу. Указанные три модели имеют разное пространственное разрешение, разную степень, в какой принимается во внимание вертикальная структура в океане, и разное время, в течение которого удобно отслеживать рассеяние. Эти модели использовались применительно к “непрерывным” источникам, обусловленным миграцией в геосфере и меняющим свою мощность с течением времени, а также применительно к “мгновенным” выбросам, когда основная часть радионуклидов высвобождается в течение относительно корот-

УРОВНИ ВЫХОДА РАДИОНУКЛИДОВ НА МУРУРОА И ФАНГАТАУФА



На диаграммах показаны прогнозируемые зависящие от времени уровни выходов трития, стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240 в биосферу.

кого времени (какой-то части года). Разумно предположить, что оба случая могут стать следствием разрушительных событий.

Было рассмотрено несколько гипотетических разрушительных событий. Они включали чрезвычайные события и явления, обусловленные климатическими изменениями, которые могут привести к повышенным уровням выброса радиоактивных материалов, удерживаемых в образованных взрывом кратерах, или к повышенным уровням облучения радиоактивным материалом в окружающей среде (например, плутонием в отложениях). Рассматриваемые события включали оледенение, приводящее к снижению уровня морей и обнажению дна лагун, а также обвал карбонатной породы, вызывающий «мгновенный» выброс высвобожденных этим обвалом радионуклидов.

Единственным разрушительным событием, потребовавшим тщательной оценки, оказался гипотетический отрыв и обвал крупных масс карбонатных формаций в северной зоне атолла Муруроа. Это — район, где проводились подземные проверочные испытания безопасности зарядов и отдельные ядерные взрывы, в ходе которых образовались кратеры, проникающие в карбонатные породы.

Секторальное моделирование регионального рассеяния радионуклидов обеспечивает оценку их концентраций в поверхностных водах у различных островов Тихого океана в разные периоды времени в рамках прогнозируемых выходов радионуклидов с атоллов Муруроа и Фангатауфа и мгновенных выбросов. Прогнозируемые концентрации на атоллах Французской Полинезии оказались ниже по сравнению с наблюдаемыми в

открытом океане в настоящее время концентрациями вследствие глобальных выпадений.

Лишь в случае выброса плутония, обусловленного разрушительным событием (обвалом), образуется более высокая концентрация (примерно на два порядка) на ближайшем атолле Турейя по сравнению с нынешними уровнями концентрации вследствие глобальных выпадений. Однако по истечении десяти лет прогнозируемые концентрации будут ниже нынешних фоновых концентраций.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАЛЬНЕГО ПОЛЯ

Для оценки концентраций радионуклидов в океане, высвобожденных на атоллах, а затем перенесенных на большие расстояния и рассеянных у восточного побережья Австралии и западного побережья Южной Америки,

была использована модель общей циркуляции дальнего поля. Данная модель применялась в отношении источников непрерывной и мгновенной радиации, а также в отношении случаев, когда выброс радионуклидов происходит в поверхностный слой и когда он происходит на глубине 400 м, ниже термоклина. В последнем случае высвобожденный материал улавливается ниже термоклина и рассеяние сдерживается; более высокие концентрации радионуклидов наблюдаются на более удаленных расстояниях от места их выброса, но на глубинах около 400 м.

Лишь в случае гипотетического разрушительного события — обвал породы с выбросом радионуклидов на глубине 400 м — уровни концентрации трития, стронция-90 и цезия-137 в морской воде в районе атолла Турейя могут достичь уровней, наблюдаемых в южной части Тихого океана в настоящее время вследствие глобальных выпадений.

Например, максимальное прогнозируемое повышение концентрации трития через пять лет на полпути к Австралии составит около 10 Бк/м³ и около 1 Бк/м³ — у побережья Австралии пять лет спустя. Эти данные сравнимы с уровнем фоновой радиации трития в 50—100 Бк/м³ на глубине 400 м. Выбросы плутония приведут к его прогнозируемой концентрации в океане в районе атолла Турейя, равной 100 мБк/м³, что примерно на два порядка превышает очень низкую концентрацию там в настоящее время (около 1 мБк/м³), обусловленную глобальными выпадениями вследствие всех ядерных испытаний в атмосфере. Концентрации плутония в океане в районе Турейя снизятся в течение десяти лет до фоновых концентраций.

В случае более реалистичного и зависящего от времени

выхода радионуклидов прогнозируемые долгосрочные концентрации радионуклидов опустятся ниже фоновых уровней в океане на расстоянии более 100 км от атоллов Муруроа и Фангатауфа.

Например, в случае поверхностного выброса плутония прогнозируемые максимальные поверхностные концентрации спустя десять лет составят в районе Муруроа около 0,2 мБк/м³. Это примерно на один порядок ниже нынешних уровней.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В целом в результате работы по моделированию морской среды в рамках исследования были сделаны следующие выводы:

■ Расчетное время водообмена в лагунах составляет 98 ± 37 дней для Муруроа и 33 ± 12 дней для Фангатауфа.

■ Перенос связанных отложениями макрочастиц плутония-239, 240 из лагуны Муруроа в Тихий океан оценивается в 8 ГБк в год при умеренных ветрах и приливах и 0,7 ТБк в случае жестокого шторма (на один шторм). Считается, что один жестокий шторм бывает не более раза в десять лет. Предполагается, что энергетический уровень источника, обусловленный штормами, будет со временем снижаться вследствие истощения содержащих плутоний отложений и постепенного их заноса. Энергетический уровень источника, обусловленный высвободившимся в результате шторма плутонием, на один порядок ниже по сравнению с плутонием, высвободившимся в результате гипотетического разрушительного события.

■ Были смоделированы два основных сценария выхода радионуклидов: 1) разрушительное событие — обвал карбонатной породы с выбросом из карбонатной зоны радиоактивности, соответствующей инвентар-

ному количеству, полученному в результате одного проверочного испытания безопасности зарядов и одного испытания с образованием кратера; и 2) зависящий от времени источник, обусловленный миграцией материала из подземных полостей и выщелачиванием отложений в лагуне.

В большинстве случаев моделирования предполагается выход радионуклидов в поверхностные слои. Однако в некоторых расчетах предусматривалось расположение источника на глубине (400 м) с целью моделирования выхода из карстовых слоев.

В рамках этих сценариев рассматривалось максимальное повышение концентраций для лагун, а также островов и атоллов южной части Тихого океана. Прогнозируемые концентрации на ближайшем обитаемом атолле (Турейя) сопоставлялись с фоновыми концентрациями в открытом океане, обусловленными глобальными выпадениями. Лишь разрушительное событие может привести к выбросу плутония, концентрация которого окажется выше уровня фоновой радиации, и то лишь на несколько лет.

При выбросах на глубинах прогнозируемые концентрации радионуклидов на Хао и Таити будут выше, чем на атолле Турейя. Однако если данные для всех этих мест усредняются применительно к общей глубине в 450 м, то все они оказываются ниже максимальных значений.

В целом моделирование рассеяния радионуклидов с атоллов Муруроа и Фангатауфа в открытом океане дает четкие результаты. Проведенная работа показала, что ожидаемые концентрации на близлежащих обитаемых островах не будут настолько высокими, чтобы иметь значение с радиологической точки зрения. □

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ОСТАТОЧНЫМ РАДИОАКТИВНЫМ МАТЕРИАЛОМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ДОЗЫ НА АТОЛЛАХ

ГОРДОН ЛИНСЛИ И ЭНДРЮ МАК-ЮАН

Атолл Муруроа в прошлом заселялся лишь время от времени, и нет никаких свидетельств того, что атолл Фангатауфа вообще был когда-либо обитаем. Отсутствие воды и уязвимость атоллов со стороны моря затрудняют жизнь людей на них.

Однако для целей Международного исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа было сделано допущение о существовании гипотетического постоянного населения на атолле Муруроа, чтобы определить потенциальные дозы облучения. Было также необходимо определить дозы применительно к более удаленным местам обитания людей, чтобы установить значимость любых выбросов радиоактивных материалов.

При оценке учитывается рассеяние радионуклидов вследствие как подземных и атмосферных испытаний, так и ускоренного выброса радиоактивных материалов, обусловленного разрушительными событиями природного или антропогенного происхождения, такими как обвалы или изменение климатических условий.

Оценка касалась настоящих и будущих доз облучения, обусловленных остаточными радиоактивными материалами на атоллах Муруроа и Фангатауфа. Дозы, полученные в прошлом в результате выпадений во время французских испытаний в атмосфере, в рамках данного исследования оценке не подвергались, однако оценка таких доз в регионе была представлена Научным комитетом ООН по действию атомной ра-

диации (НКДАР ООН).
(См. вставку на стр. 39.)

КАТЕГОРИИ ОБЛУЧЕНИЯ

В данном исследовании проводилась оценка доз облучения остаточными радионуклидами французских ядерных испытаний для критических групп населения как в нынешних условиях, так и в будущем. Оценки проводились по следующим категориям и группам населения:

- нынешнее облучение — для гипотетических обитателей атоллов Муруроа и Фангатауфа;
- нынешнее облучение — для обитателей атолла Турейя, самого близкого населенного атолла в регионе;
- будущее облучение — для населения региона и любых обитателей атоллов Муруроа и Фангатауфа, обусловленное присутствующим в настоящее время в окружающей среде остаточным радиоактивным материалом и той частью радиоактивного материала, которая удерживается под землей и будет мигрировать к доступной окружающей среде в будущем;
- потенциальное облучение — для жителей региона и гипотетических обитателей атоллов Муруроа и Фангатауфа вследствие теоретически допускаемых разрушительных событий.

Пути облучения. Было установлено, что основной вклад в дозы облучения будет получен через потребление зараженных продуктов питания. Использовались реалистически составленные пищевые рационы для таких групп населения, как жители ближайшего населенного атолла Турейя и гипотетические обитатели

атоллов Муруроа и Фангатауфа. С целью обеспечить получение верхних пределов доз облучения для гипотетических групп населения в других местах применения, в частности, морепродуктов.

Концентрации радионуклидов в пищевых продуктах оценивались, по возможности, путем прямых измерений. В тех случаях, когда прямые измерения оказывались невозможными, как, например, в случае с гипотетическим населением, производилась оценка концентраций в пищевых продуктах.

НЫНЕШНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НА АТОЛЛАХ

Дозы облучения остаточным радиоактивным материалом постоянных обитателей атоллов, потребляющих в пищу продукты местного производства или морепродукты из лагун, обычно не превышали бы 0,01 мЗв в год. Это эквивалентно исключительно малой части (менее одной двухсотой) общей дозы облучения, которую такое постоянное население неизбежно получало бы от источников естественной радиации (см. таблицу и вставку на стр. 40).

Оценка доз облучения проводилась на основе измеренных

Г-н Линсли — руководитель Секции безопасности отходов Отдела радиационной безопасности и безопасности отходов МАГАТЭ. Г-н Мак-Юан — директор Национальной радиационной лаборатории Новой Зеландии, председатель Целевой группы А в рамках исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа.

уровней искусственных радионуклидов в окружающей среде атоллов с учетом вклада глобальных выпадений (т. е. выпадений вследствие всех испытаний ядерного оружия в атмосфере). За исключением случая с морепродуктами, определить указанный вклад в измеренные уровни в окружающей среде, а следовательно, и те части оцененных доз, которые обусловлены глобальными выпадениями, невозможно.

Согласно оценке, существующая в настоящее время обусловленная глобальными выпадениями средняя годовая доза для всей полосы между 20° и 30° ю.ш., в которой расположен атолл Муруроа, составляет примерно от 0,002 до 0,003 мЗв.

НЫНЕШНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Были также оценены существующие в настоящее время годовые дозы для жителей других островов южной части Тихого океана, обусловленные остаточным радиоактивным материалом в доступной окружающей среде. В тысячекилометровой зоне вокруг атолла Муруроа проживает около 5 тыс. человек. В соответствии с проведенными в рамках исследования расчетами обитатели атолла Турейя, ближайшего населенного пункта от атоллов Муруроа и Фангатауфа (примерно 130 км от Муруроа, население около 120 человек), получают лишь пренебрежимо малые дозы (менее 0,0001 мЗв в год), которые можно отнести на счет выбросов радионуклидов с атоллов Муруроа и Фангатауфа.

Однако во время проведения ядерных испытаний в атмосфере на атоллах Муруроа и Фангатауфа уровень выпадений на атолле Турейя превышал уровень глобальных выпадений. Получаемые его обитателями дозы облучения в результате всех выпадений в прошлом оценивались примерно

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В ПРОШЛОМ

Во время французских испытаний в атмосфере в период 1966–1974 гг. в радиусе 1 тыс. км от французского испытательного полигона проживало около 5 тыс. человек, и локальные случаи облучения имели место, особенно в ходе пяти испытаний (см. таблицу), из-за необычных ветрового и дождевого режимов. В 1966–1971 гг. в результате четырех испытаний обитатели атолла Турейя (ближайшего заселенного атолла на расстоянии 130 км к северу от Муруроа) и островов Гамбье (400 км к юго-востоку от Муруроа) получили эффективные дозы от 1 до 5 мЗв. В результате еще одного испытания (в 1974 г.) жители Таити (1200 км к северо-западу) получили дозы до 0,8 мЗв. Только немногие обитатели этих островов получили бы максимальные расчетные дозы, приведенные в таблице, ниже. На Таити, например, большинство людей подверглись бы лишь внешнему облучению. Несколько случаев внутреннего облучения было отмечено на других островах вследствие потребления зелени или лагунных моллюсков.

Облучение в то время происходило главным образом за счет выпадения короткоживущих радионуклидов, например радиоактивного йода (особенно йода-131 с периодом полураспада в восемь дней). Во время ядерных испытаний в атмосфере на атоллах Муруроа и Фангатауфа во многих местах Южного полушария проводились измерения концентраций йода-131 в молоке. Как полагают, эквивалентная доза в щитовидной железе, полученная людьми в результате ядерных испытаний на двух атоллах, не превышала 10 мЗв в течение всего периода испытаний в атмосфере (1966–1974 гг.).

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОЗЫ МАКСИМАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПРОШЛОМ

Дата ядерного испытания	Место облучения	Годовая эффективная доза (мЗв)			
		Внешнее облучение	Вдыхание	С приемом пищи	Всего
2 июля 1966 г.	Острова Гамбье	3,4	0,18	1,9	5,5
2 июля 1967 г.	Атолл Турейя	0,7	0,023	0,17	0,9
12 июня 1971 г.	Атолл Турейя	0,9	0,003	0,43	1,3
8 августа 1971 г.	Острова Гамбье	0,9	0,002	0,24	1,2
17 июля 1974 г.	Таити (Маина)	0,6	0,08	0,06	0,8

в 0,005 мЗв в год. Определить долю этой дозы, обусловленную только выпадениями радионуклидов в результате испытаний на атоллах Муруроа и Фангатауфа, также невозможно, поскольку оценки дозы облучения производятся на основе измеренных уровней всех искусственных радионуклидов в окружающей среде атолла Турейя, включая определенную часть радионуклидов, поступившую вследствие глобальных выпадений. Доза в 0,005 мЗв в год является чрезвычайно малой по сравнению с суммарными дозами, получаемыми обитателями атолла Турейя от естественных источников радиа-

ции, и аналогична дозе, рассчитанной для гипотетических жителей атолла Муруроа.

Следует отметить, что существуют различия во вкладах в дозы, вносимых разными путями облучения, на атолле Турейя и на атолле Муруроа. На атолле Турейя потребляется много морепродуктов, но вклад в дозу облучения, получаемый этим путем, незначителен, поскольку в отложениях лагуны практически нет радиоактивных материалов, обусловленных выпадением радиоактивных осадков. Потребление наземных пищевых продуктов является более важным фактором с точки зрения вклада в

НЫНЕШНИЕ ДОЗЫ ДЛЯ ВЗРОСЛЫХ ЖИТЕЛЕЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ОСТАТОЧНЫМ РАДИОАКТИВНЫМ МАТЕРИАЛОМ И ГЛОБАЛЬНЫМИ ВЫПАДЕНИЯМИ

Путь поступления	Годовая доза (гипотетические расчеты для участка Анемон на атолле Муруроа) (мЗв)	Годовая доза на атолле Турейя (мЗв)
Внешнее облучение	~0,0011	<0,001
Вдыхание	<0,0001	—
С приемом пищи: наземные продукты	0,0009 ^a	0,004 ^a
С приемом пищи: морепродукты	0,0043 ^b	0,00001 ^b
Всего	~0,006	~0,005

^a Неопределимая часть этой дозы обусловлена глобальными выпадениями.

^b Вклад в акватическую дозу заражения морепродуктами в размере 0,0004 мЗв, обусловленный глобальными выпадениями, в данную оценку дозы не включен.

дозы облучения ввиду большего осаднения цезия-137, высвобожденного в результате проводившихся тогда ядерных испытаний в атмосфере, на поверхность атолла Турейя, чем на атолле Муруроа. Для атолла Муруроа, где отмечается присутствие плутония в лагунных отложениях, более значимым путем облучения является потребление морепродуктов.

Были также подвергнуты оценке индивидуальные дозы для потребителей морепродуктов, выловленных в отдаленных зонах рыболовства Тихого океана. Уровни доз во всех случаях оказались намного ниже уровней, рассчитанных даже для атоллов Муруроа и Фангатауфа. Существующие в настоящее время годовые дозы для активных потребителей морепродуктов, выловленных в соседних с Австралией и Новой Зеландией районах, а также для отдельных лиц, потребляющих аналогичные количества морепродуктов в соседних с Южной Америкой районах, пренебрежимо малы; типичные дозы на много порядков ниже средних доз от естественной фоновой радиации.

КОНКРЕТНЫЕ СИТУАЦИИ

В рамках исследования были дополнительно рассмотрены четыре конкретные ситуации на

СРАВНЕНИЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ

Источник облучения	Доза (мЗв в год)
Дозы от глобальной естественной фоновой радиации	
■ Типичный диапазон	1—10
■ Максимальные величины	~100
■ Средние величины	2,4
Атоллы Муруроа и Фангатауфа	
■ Дозы от естественной фоновой радиации	1,4—3
Рассчитанные на данное время дополнительные дозы от остаточных радиоактивных материалов на атоллах Муруроа и Фангатауфа	
■ Максимальные дозы на атолле Турейя	<0,0001
■ Средние дозы на атоллах Муруроа и Фангатауфа	<0,01
■ Максимальные дозы в районе Кило-Амперер на атолле Фангатауфа	~0,25
Максимальная дополнительная доза на атолле Турейя в случае обвала породы на атолле Муруроа	0,007 (в начальный год)

атоллах Муруроа и Фангатауфа.

■ **Плутоний в лагунах.** Инвентарное количество плутония в отложениях двух лагун является относительно высоким: около 5 кг на атолле Муруроа и около 3 кг на атолле Фангатауфа. Однако данный плутоний может внести лишь очень малый вклад в дозу облучения ввиду низкого коэффициента его поступления к людям через вероятные пути. Содержание плутония также сокращается ввиду переноса с течением времени лагунных отложений в океан и

постепенного заноса и растворения лагунных отложений благодаря накоплению новых отложений.

■ **Тритий в лагунах.** Концентрация трития в лагунах, обусловленная выбросами из подземных источников, в настоящее время примерно в десять раз превышает очень низкие уровни его концентрации в открытом океане (порядка 1000 Бк/м³, соответственно). Однако тритий является одним из наименее токсичных радионуклидов с точки зрения облучения. Чтобы накопить дозу в 2,4 мЗв в год — среднюю

годовую дозу, получаемую от источников естественной радиации. — необходимо постоянно потреблять пресную воду, содержащую $1,6 \times 10^8$ Бк/м³. Поэтому дозами облучения, обусловленными наличием трития в лагунах, можно пренебречь.

■ **Потенциальное облучение макрочастицами, содержащими плутоний.** Следствием атмосферных проверочных испытаний безопасности зарядов, проводившихся на моту Колетт, Ариель и Веста атолла Муруроа, явилось взрывное рассеяние плутония (вместе с незначительными количествами америция). В ходе исследования было установлено, что общая поверхностная активность остаточного плутония в данном районе примерно в три раза превышает французский критерий в 10^6 Бк/м², предусмотренный для операций по очистке территории в целях ограничения потенциального облучения через вдыхание тонко измельченных коралловых частиц, содержащих плутоний. Однако данный повышенный уровень общей поверхностной активности может обусловить лишь низкие дозы облучения, например менее 0,001 мЗв в год, для таких групп населения, как рыбаки, которые могут проводить в данном районе около 120 часов в год.

Некоторая часть рассеянного радиоактивного материала находится в форме дискретных частиц, размеры которых, однако, колеблются в пределах от 0,1 мм до, возможно, 1 мм. Частицы плутония были обнаружены в пробах песка, кораллов и коралловой коренной породы, отобранных в районе Колетт, и в песке из песчаной отмели лагуны, примыкающей к району Колетт.

Эти частицы являются еще одним путем потенциального облучения в районе Колетт. Если потребуются посетить моту Колетт или более мелкие моту Ариель и Веста (находящиеся на отдаленной и едва выступающей над уровнем моря части

кольца атолла), то существует риск, хотя и весьма незначительный, что такая частица может попасть в организм человека через порез и остаться в нем. Если частицу не удалить (естественным путем или действием человека), то в результате производимого ею облучения может накопиться значительная доза радиации. Предполагается, что при нахождении частицы в организме она явится постоянным источником плутония; плутоний будет медленно растворяться в жидких субстанциях организма и переноситься к критическим органам и тканям (в частности, к костям), подвергая их непрерывному облучению.

Информация, полученная путем обследования и изучения отобранных частиц в рамках самого исследования, была достаточной для оценки общего радиологического риска. Были использованы данные экспериментальных исследований присутствия в организме человека аналогичных активных частиц с испытательного полигона Маралинга в Австралии. Потенциальная эффективная расчетная доза облучения удержанной в организме частицей оксида плутония составляла для взрослых от 9×10^{-8} до 9×10^{-6} Зв/Бк.

Если в организме задержится одна из наиболее активных частиц плутония примерно в 100 тыс. Бк, то полученные на протяжении жизни дозы могут составить около 1 тыс. мЗв. Это примерно в десять раз превышает среднюю дозу, аккумулированную за 50 лет от источников естественной радиации. Пожизненная доза облучения будет зависеть от возраста человека и от растворимости частицы в жидких субстанциях организма. Такая доза для ребенка может быть порядка на два выше. Принимая во внимание длительный (хронический) характер облучения, появление каких-либо немедленных оче-

видных последствий для здоровья, кроме образования небольшого узла из мертвых тканей вокруг частицы, в результате такого поглощения вряд ли возможно, даже если это будут высокоактивные частицы.

Однако шанс получить такое облучение в действительности, по расчетам, весьма невелик. Вероятность заболеть раком со смертельным исходом в результате облучения для человека, живущего на Муруроа, составляет, по оценке, менее одного случая на миллион в год.

■ **Дозы облучения для гипотетической критической группы населения на атолле Фангатауфа.** Данные исследования указывают на то, что самые высокие дозы от остаточных радиоактивных материалов, образовавшихся в ходе французских ядерных испытаний, были бы получены гипотетической и очень небольшой группой обитателей атолла, потребляющих в пищу только местные продукты из ограниченного участка в районе Кило-Амлерер. Данный район находится с наветренной стороны от того места, где 24 сентября 1966 г. с баржи было проведено испытание в атмосфере мощностью 125 килотонн. В результате испытания на узкой полосе земли, протянувшейся на 3 км вдоль побережья атолла, в почве образовались повышенные уровни цезия-137 и других радионуклидов, хотя распределение их является весьма неравномерным. Основной вклад в дозу мог бы быть обусловлен предполагаемым потреблением содержащих цезий-137 кокосовых орехов и других культур, выращиваемых только на участках полосы, где уровни данного радионуклида являются наивысшими. Уровень полученной в результате этого эффективной дозы составит менее 0,25 мЗв в год. Это значение эквивалентно примерно 10% годовой фоновой дозы, которую такое постоянное

население неизбежно получало бы только от естественных источников радиации. Однако считается, что осуществить такой гипотетический сценарий на практике невозможно, поскольку на атолле Фангатауфа фактически не могут обитать люди, ведущие традиционный для данного региона образ жизни, основанный на полунатуральном хозяйстве; атолл временами затапливается морской водой и на нем нет питьевой воды и съедобных культур, кроме кокосовых орехов.

РАСЧЕТНЫЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В БУДУЩЕМ

При оценке доз облучения для населения в будущем рассматривалось три случая.

■ **Дозы облучения в будущем, обусловленные присутствующим в доступной окружающей среде остаточным радиоактивным материалом.** Расчетные годовые дозы облучения для любых возможных будущих обитателей атоллов Муруроа и Фангатауфа, обусловленные общим рассеянием радионуклидов от ядерных испытаний в окружающей среде, являются малыми в абсолютном выражении и незначительными с точки зрения любых существующих критериев или сравнения. Дозы облучения от радиоактивных материалов, уже присутствующих в окружающей среде, — главным образом от цезия-137 и плутония-239, 240 — сохранятся, но их величина будет уменьшаться вследствие как радиоактивного распада, так и других процессов, снижающих содержание радионуклидов в окружающей среде.

В соответствии с прогнозами в рамках исследования скорость выщелачивания цезия-137, стронция-90 и плутония-239, 240 из лагунных отложений, обуславливающих уровни этих радионуклидов в водах лагун в настоящее время, будет со вре-

менем продолжать снижаться, так же как и уровни расчетных доз, связанных с этими радионуклидами. В будущем уровни расчетных гипотетических доз облучения от существующих на атолле Муруроа источников радиации, если бы атоллы действительно были заселены, сначала снизятся за 100 лет от нынешнего максимума не более чем в 0,01 мЗв в год до примерно 0,001 мЗв в год по мере распада и рассеяния находящегося на поверхности остаточного радиоактивного материала. (Следует отметить, что уровни этих доз в долгосрочной перспективе будут повышаться по мере поступления плутония, мигрирующего из-под земли, в лагунные воды, однако они никогда не превысят уровней, существующих в настоящее время.)

■ **Потенциальное облучение от подземных радионуклидов.** Оценка вероятных будущих выбросов радионуклидов в результате их миграции из подземных источников показывает, что выбросы цезия-137 и стронция-90 в лагуны со временем уменьшатся, но уровень выброса плутония после начального снижения повысится и достигнет максимума после 5—6 тыс. лет. Однако даже по достижении этого максимума связанные с ним расчетные дозы облучения для гипотетических обитателей атоллов Муруроа будут ниже по сравнению с расчетными дозами, которые могли бы получать те же гипотетические обитатели в настоящее время, т. е. менее 0,01 мЗв в год. Аналогичным образом, дозы облучения, которые могли бы быть получены в будущем в других местах южной части Тихого океана в результате выбросов из подземных источников радиации на атоллах Муруроа и Фангатауфа, будут, в соответствии с прогнозами, ниже тех исключительно малых доз, получаемых от присутствую-

ющих в доступной окружающей среде в настоящее время радионуклидов.

■ **Потенциальное облучение обитателей региона вследствие теоретически допускаемых разрушительных событий.** В рамках исследования изучались радиологические последствия теоретически допускаемых разрушительных событий. Они включают оледенение и обвал карбонатной породы, ведущие к выбросу радионуклидов в океан. В случае обвала породы наивысшие гипотетические годовые дозы получили бы обитатели ближайших атоллов, поскольку любые высвободившиеся таким образом радионуклиды будут унесены океаническими течениями. Для обитателей атоллов Турейя доза, полученная в течение первого года после такого обвала, не превысит нескольких тысячных микрозиверта даже при пессимистическом предположении, что весь захваченный обвалом плутоний перейдет в раствор. Такая доза может появиться лишь в течение одного года после обвала, а в дальнейшем дозы будут последовательно снижаться по мере рассеяния радиоактивного материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом в ходе исследования были проанализированы потенциальные дозы облучения для групп нынешних и будущих гипотетических обитателей атоллов. В результате исследования было установлено — за исключением гипотетического случая в районе Кило-Амперер на побережье атоллов Фангатауфа, — что, вероятно, ни одна группа никогда не получит от облучения остаточными радиоактивными материалами на атоллах Муруроа и Фангатауфа дозу, превышающую примерно 1% фоновой дозы облучения, которую такая группа неизбежно получит от естественных источников радиации. □

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПАДЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЯДЕРНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

"ГОРЯЧИЕ ЧАСТИЦЫ" И "ХОЛОДНАЯ ВОЙНА"

ПЬЕР РОБЕРТО ДАНЕЗИ

К началу следующего столетия число зарегистрированных ядерных испытательных взрывов различной мощности и типов составит более 2 тыс. Почти все они были проведены в период "холодной войны", закончившейся в 90-е гг.

Остаточные радиоактивные материалы ядерных испытаний в атмосфере рассеялись в окружающей среде. В зависимости от типа испытаний, места их проведения и мощности они разделились между локальной земной (или водной) поверхностью и тропосферными и стратосферными районами. В дальнейшем атмосферные осадки, содержащие остаточные радиоактивные материалы, образуют как локальные, так и глобальные радиоактивные выпадения. Концентрации определенных радионуклидов могут привести к образованию "горячих частиц" — крошечных кусочков материи, содержащих радиоактивные химические элементы.

Локальные радиоактивные выпадения включают крупные радиоактивные аэрозоли — частицы, осаждаемые обычно в радиусе около 100 км от места взрыва. Локальное радиоактивное загрязнение на полигонах по испытанию ядерного оружия, кроме того, увеличивается за счет проверочных испытаний безопасности зарядов, которые часто приводят к рассеянию делящегося материала. Выброс такого материала происходит в различных формах, включая пары плутония, аэрозоли плутония различных размеров, макро-частицы оксида плутония, покрытые плутонием частицы, крупные куски загрязненных плуто-

нием конструкционных материалов, разрушенных в результате испытательного взрыва.

Глобальные выпадения подразделяются на тропосферные и стратосферные. Первые состоят из аэрозолей, которые не переносятся через тропопаузу и которые осаждаются в среднем в течение 30 дней. За это время радиоактивные остатки рассеиваются в широтной полосе, в которую они были внесены взрывом, по траекториям, определяемым розой ветров. Стратосферные выпадения обусловлены частицами, которые позже порождают широкомасштабные глобальные выпадения, по большей части в том полушарии, где был проведен ядерный взрыв. На их счет относится основная часть остаточных долгоживущих продуктов деления.

В результате ядерных выпадений люди подвергаются воздействию радиоактивности посредством внутреннего облучения (вдыхание находящихся в воздухе радиоактивных материалов или потребление загрязненных пищевых продуктов) и внешнего облучения (радиоактивными материалами, присутствующими в приземном слое воздуха или осаждаемыми на почву). В этой области уже проведены крупномасштабные исследования.

В случае ядерных испытаний оценка характера основного события обычно включает анализы

Фото: Памятный знак на месте бывшего ядерного полигона в Маралинге, Южная Австралия. Рабочая группа МАГАТЭ проводит отбор проб почвы на полигоне Муруроа во Французской Полинезии для анализа горячих частиц. (Danesi/LAEA)



радиоактивного материала, осаждаемого на землю. Однако такие исследования вызывают сомнения, поскольку за время между ядерным взрывом и отбором проб для радиохимического анализа могут произойти существенные изменения в составе радионуклидов. Процесс, именуемый фракционированием, делает пробы радиоактивных остатков нерепрезентативными в отношении продуктов взрыва.

Фракционирование начинается с конденсацией радиоактивного и инертного материала, образованного огненным шаром. Смесь может начать разделяться еще в процессе конденсации под влиянием ветра, силы тяжести и турбулентности атомного облака. В дальнейшем разделение конденсата происходит через различные процессы, включая контакт радиоактивных остатков с инертным материалом.

После образования атомного облака процессы охлаждения,

Г-н Данези — директор Лабораторий МАГАТЭ в Зайберсдорфе близ штаб-квартиры Агентства в Вене, Австрия.

конденсации, коагуляции, смешения и разделения происходят одновременно, но с разной степенью интенсивности в различных районах облака. Кроме того, в результате процессов радиоактивного распада меняется элементарная форма первоначальных радиоактивных продуктов.

Горячие частицы. Научное понимание явления фракционирования является важным для интерпретации глобальных выпадений и ядерной химии процесса взрыва; оно полезно также для оценки опасностей, связанных с заражением и потреблением в пищу зараженных продуктов.

Вариации в размерах и типах частиц сопровождаются различиями в радиохимическом составе в соответствии с моделями фракционирования. Природа и концентрация радионуклидов, наряду с размером и формой частиц, являются, в свою очередь, факторами, определяющими связанные с процессами вдыхания или потребления пищи опасности.

Другая важная научная информация касается химической формы, в которой радионуклиды присутствуют в частицах. Радионуклиды в горячих частицах являются в целом относительно инертными по сравнению с ионами, атомами и изотопами, обладающими низкой молекулярной массой, которые более подвижны и легко выделяются.

Подробная физико-химическая информация по энергетическому уровню этого источника важна для оценки краткосрочных и долгосрочных последствий атмосферных выпадений, и в частности утечки радионуклидов из горячих частиц. Обычно характеристики энергетического уровня источника радиации сводятся к оценке инвентарных количеств, уровней активности или концентраций активности осаждаемых радионуклидов. Информация по

физико-химической форме является ограниченной.

После осаждения частицы подвергаются воздействию атмосферных условий, и содержащиеся в них радионуклиды становятся со временем подвижными. На интенсивность разрушения под воздействием атмосферных условий будут оказывать влияние состав частиц, возможные структурные изменения и химические условия в месте осаждения. Кроме того, ставшие подвижными радионуклиды могут также взаимодействовать с почвой и отложениями.

В большинстве моделей по оценке переноса и последствий загрязнения радионуклидами предполагается, что радионуклиды присутствуют в виде ионов или изотопов с низким молекулярным весом. Это может легко привести к завышенной оценке краткосрочных последствий радиационного загрязнения.

С другой стороны, если частицы довольно инертны, как это часто случается, перенос радионуклидов будет задержан до их окончательного разрушения в результате атмосферного воздействия. Следовательно, оценка долгосрочных последствий радиационного загрязнения может оказаться заниженной.

Отсюда очевидно, что без учета роли горячих частиц сделанные на основе моделей прогнозы могут содержать значительные погрешности.

Присутствие горячих частиц может также сделать несостоятельными некоторые предположения, касающиеся загрязнения почвы и отложений. Это относится к довольно частому допущению, что пересчет концентраций радиоактивности на поверхности или в какой-либо массе в единицы разных порядков (например, из Бк/см² в Бк/м² или Бк/км², и наоборот) является правомерной операцией.

Приведенные ниже примеры иллюстрируют конкретные подходы к изучению горячих час-

тиц на полигонах по испытанию ядерного оружия.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ЮЖНОЙ АВСТРАЛИИ

С 1953 по 1963 г. Соединенное Королевство осуществляло программу испытаний ядерного оружия на полигонах Маралинга и Эму в Южной Австралии. На этих площадках, в настоящее время полностью возвращенных в первоначальное состояние, было проведено девять ядерных взрывов и несколько сот более мелких проверочных испытаний безопасности зарядов.

В то время как мощность крупных взрывов колебалась от 1 до 27 килотонн, при малых испытаниях происходило лишь стогранение и взрывное рассеяние урана, плутония и короткоживущих радионуклидов. Последствия таких испытаний для окружающей среды широко исследовались Австралийской радиационной лабораторией (АРЛ) и явились предметом ряда публикаций.

Наиболее существенное загрязнение плутонием на полигоне Маралинга явилось следствием серии из 12 проверочных испытаний безопасности зарядов, в ходе которых в окружающую среду было выброшено 22 кг плутония (и аналогичное количество урана-235). Указанный материал был рассеян обычными взрывчатыми веществами, при этом имели место лишь незначительные ядерные реакции или они полностью отсутствовали. Плутоний выбрасывался вертикально вверх на высоту до 800 м и рассеивался господствующими ветрами на значительные расстояния. Это вызвало загрязнение крупных участков земли. Плутоний мог быть обнаружен за многие километры от мест детонации.

АРЛ идентифицировала плутоний в основном в трех формах: в виде поверхностного покрытия на таких материалах, как куски металла, пластика, проволоки и свинцовых кирпичей, яв-

лявших частью экспериментальных сборок: в виде крохотных фрагментов или частиц, не всегда различимых глазом, но легко обнаруживаемых гамма-мониторами; и в виде очень мелкого рассеянного материала, состоящего из частиц зараженной почвы и частиц реконденсированного плутония, диапазон размеров которых был тот же, что у частиц почвы.

Образцы такого материала отбирались и отделялись путем просеивания до размера 45 микрон в диаметре в целях определения концентраций по массе и активности. Результаты показали, что наибольшая масса, как правило, была связана с фракцией в 250—500 микрон, однако наивысшая концентрация активности (около 41%) отмечалась у фракции размером менее 45 микрон, которая составляла лишь 5% общей массы.

Наименьшая фракция подвергалась дальнейшему разделению на семь аэродинамических размеров в диапазоне от 45 до менее 3 микрон. Таким способом была также выявлена вдыхаемая фракция, которая была определена как фракция размером менее 7 микрон.

Были также идентифицированы частицы в образце почвы весом 800 г (с активностью 25 Бк америция-241), размельченном в процессе бинарных разделений на дискретные частицы. Было установлено, что вся активность образца содержалась в 54 выделенных горячих частицах. Активность индивидуальных частиц была, по оценке, порядка от 0,1 до 2,0 Бк америция-241, а их средний диаметр составлял около 20 микрон.

В процессе исследования было идентифицировано также большое число субмиллиметровых горячих частиц, которые анализировались методом гамма-спектрометрии с высоким разрешением (для определения отношения плутония-239 к америцию-241), а также на случай

возможного биологического поглощения. Пять субмиллиметровых частиц с активностью от 30 Бк до 5 кБк были также подвергнуты анализу методом протониндуцированной рентгеновской спектроскопии с целью получения информации по их элементарному составу и однородности.

В этих частицах диаметром в несколько сот микрон было установлено однородное распределение плутония и урана на поверхности. Основными обнаруженными элементами были алюминий (1,8%), калий (2,3%), кальций (1%), железо (23%), свинец (от 1,9% до 35%), уран (от 2,9% до 0,8%) и плутоний (19%). Исследования по растворению данных частиц в имитированной легочной жидкости показали, что они обладают лишь незначительной растворимостью.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВО ФРАНЦУЗСКОЙ ПОЛИНЕЗИИ

Другие исследования горячих частиц проводились во Французской Полинезии группой экспертов в рамках Международного исследования радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа, завершено в 1998 г. С июля 1966 г. по сентябрь 1974 г. там было проведено 41 ядерное испытание в атмосфере. В дополнение к этому было проведено пять проверочных испытаний безопасности зарядов на поверхности северной оконечности атолла Муруроа, в местах, называемых обычно районом Колетт.

Проверочные испытания безопасности зарядов проводились с целью исследования поведения центральной части ядерных устройств в условиях моделированного аварийного взрыва. Центральная часть подвергалась разрушению с помощью детонации обычных взрывчатых веществ с последующим рассеянием в ходе каждого испытания около

3,5 кг плутония-239 в форме мелкоразделенного плутония и оксида плутония. Несмотря на крупномасштабные операции по очистке территории, проведенные в 1982—1987 гг., горячие частицы плутония остались на поверхности в районе Колетт и на прилегающем песчаном берегу лагуны.

В рамках Международного исследования группа ученых провела оценку остаточного загрязнения наземной окружающей среды на атоллах Муруроа и Фангатауфа, включая район Колетт. Операции по отбору проб были организованы и координировались лабораториями МАГАТЭ в Зайберсдорфе и проводились летом 1996 г. За ними последовали широкомасштабные радиохимические измерения примерно 300 проб (*см. статью на стр. 24*).

Анализ остаточного загрязнения в районе Колетт обнаружил присутствие содержащих плутоний горячих частиц. Двадцать относительно крупных частиц, размером от 200 микрон до 1 мм, были выделены из обломочного кораллового материала и измельченной коралловой породы. Они были измерены методом гамма-спектрометрии с высоким разрешением с целью оценки их активности и отношения плутония-239 к америцию-241. Установленная активность плутония-239 была в диапазоне от 5 до 300 кБк, хотя была также обнаружена частица с уровнем активности около 1 МБк. Активность америция-241 в частицах составляла от 0,2 до 5,6 кБк. Шесть из этих горячих частиц диаметром от 200 до 500 микрон были также изучены методом оптической микроскопии и микрорентгенофлуоресценции. Наблюдения показали, что некоторые частицы были гладкими, стекловатыми и компактными, в то время как другие казались шероховатыми и могли даже быть конгломератами более мелких частиц.

В дополнение к плутонию в частицах были обнаружены другие элементы. Они включали уран и нептуний в концентрациях в 10—100 раз меньших по сравнению с плутонием; кальций (что говорит о наличии в них кальциокарбонатной матрицы); железо (что свидетельствует об их металлической природе); хлор (по всей видимости, из соли морской воды); и следы марганца, никеля, хрома, кобальта и титана (что, по-видимому, отражает состав стальных контейнеров для делящихся материалов, использовавшихся в проверочных испытаниях безопасности зарядов).

Для оценки распределения плутония в коралловых обломочных материалах был отобран образец весом в 1053 г, который был разделен на ситах до получения фракций семи размеров. Активность плутония и америция в различных фракциях измерялась методом гамма-спектрометрии с высоким разрешением. Результаты показали, что 99,9% массы и 95,8% активности присутствовали в частицах размером более 250 микронов.

Тем не менее необходимо отметить, что по результатам исследования не исключается присутствие частиц размером менее 10 микронов (содержащих вдыхаемую фракцию) с активностью плутония-239 в несколько сот беккерелей. Исследования процессов растворения *in vitro* в моделированной сыворотке шести горячих частиц показали, что количество растворенного плутония во всех случаях было ниже 0,07% от исходного его количества в частицах, что указывает на характеристики растворимости, аналогичные характеристикам частиц с испытательного ядерного полигона Маралинга.

БУДУЩЕЕ ПОТРЕБНОСТИ

Исследование горячих частиц имеет большое значение для получения точных оценок ради-

ационной опасности на площадках, загрязненных в результате испытаний ядерного оружия. Однако проведенные до сих пор исследования породили больше вопросов, чем дали окончательных ответов. Они показывают, что информация по горячим частицам и их фракционированию, полученная в процессе радиохимических, химических и физических анализов обломков, все еще продолжает оставаться слишком недостаточной и разрозненной с учетом многообразной природы полученных частиц и количества переменных, требующих изучения. Поэтому сложные явления, управляющие образованием горячих частиц, их химическим и радиохимическим составом, физическими и морфологическими свойствами и поведением в природной окружающей среде, до сих пор до конца еще не поняты.

Очевидно, что явления, ведущие к образованию горячих частиц, и их поведение в экосистемах отличаются сложностью. Таким образом, к любым обобщениям необходимо подходить с осторожностью. Считается, что дальнейший прогресс в этой области потребует участия междисциплинарных коллективов ученых. Они должны включать физических химиков, специалистов в области неразрушающих микроаналитических методов, радиохимиков, ядерных физиков и специалистов в области защиты от ионизирующих облучений.

Необходимо также отметить, что горячие частицы различных размеров и состава, содержащие актиниды, продукты деления или активации, выбрасываются в окружающую среду и из других источников помимо ядерных испытаний. Например, они образовывались во время пожара на ядерном реакторе Уиндскейл в 1957 г., во время аварии самолета Б-52 в Туле в 1968 г. и спутника "Космос" в Канаде в 1978 г., а также во

время аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Выброс горячих частиц в окружающую среду происходит также на предприятиях по изготовлению делящихся материалов в рамках программ по производству ядерного оружия.

В целом, как известно, любая установка по переработке ядерных материалов выбрасывает незначительные, но поддающиеся обнаружению количества радиоактивных и нерадиоактивных изотопов непосредственно в окружающую среду. Эти выбросы, зачастую незначительные с точки зрения радиационной опасности, принимают разную форму — потоков, аэрозолей или частиц отходов — и могут быть обнаружены на некотором расстоянии от места сброса с подветренной стороны или вниз по течению потока.

Для изучения других источников радиоактивности в окружающей среде могут быть использованы те же современные аналитические методы, что и для исследования горячих частиц, образованных в результате ядерных испытаний. Они позволяют ученым проводить измерения исключительно малых объемов химических элементов и изотопов, присутствующих в высвобожденных радиоактивных материалах, и тем самым получать информацию о процессах их формирования.

Можно надеяться, что в предстоящие годы будет проведено больше исследований горячих частиц в местах, загрязненных в результате испытаний ядерного оружия и различных ядерных аварий, а также вблизи ядерных установок. Такой работе будет содействовать прогресс в развитии инструментальных аналитических методов. Это, далее, приведет к более глубокому пониманию роли горячих частиц в оценке радиационных опасностей и к получению информации о видах и назначении произведших их установок. □

ЗАСЕДАНИЯ СОВЕТА УПРАВЛЯЮЩИХ МАГАТЭ

На заседаниях в ноябре 1998 г. Совет управляющих МАГАТЭ в числе принятых решений утвердил Программу технического сотрудничества МАГАТЭ на 1999—2000 гг. и еще шесть Дополнительных протоколов к соглашениям о гарантиях с государствами — членами Агентства.

В утвержденной Программе технического сотрудничества реализуются основные тенденции, наметившиеся в данной области, — стремление к регионализации; повышение внимания к проблеме безопасности; и разработка страновых характеристик и планов действий применительно к конкретной стране.

Шесть Дополнительных протоколов заключены с Венгрией, Кипром, Китаем, Монако, Словенией и Японией. Ранее Совет утвердил Дополнительные протоколы с 32 государствами.

В своем вступительном заявлении на Совете Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Баради сообщил, что обсуждается еще ряд Дополнительных протоколов с соответствующими государствами и что некоторые из них могут быть окончательно подготовлены до следующего

заседания Совета, намеченного на март 1999 г.

Состав Совета на 1998—1999 гг. На Генеральной конференции МАГАТЭ в сентябре 1998 г. в Совет управляющих МАГАТЭ были избраны 11 государств-членов.

Новыми членами Совета стали Бразилия, Греция, Египет, Иордания, Норвегия, Саудовская Аравия, Сингапур, Словакия, Судан, Уругвай и Чили.

В состав Совета входят еще 24 государства-члена, либо назначенные Советом, либо избранные на Генеральной конференции: Австралия, Аргентина, Бельгия, Венгрия, Вьетнам, Гана, Германия, Индия, Италия, Канада, Китай, Республика Корея, Марокко, Мексика, Пакистан, Перу, Российская Федерация, Словения, Со-



единенное Королевство, Соединенные Штаты, Франция, Швеция, Южная Африка и Япония.

Председатель Совета. На своем первом заседании в сентябре 1998 г. новый состав Совета управляющих МАГАТЭ избрал г-на Мирослава Грегориша (фото вверху), Словения, Председателем Совета на период 1998—1999 гг. Г-н Грегориш является Директором Управления по ядерной безопасности Словении, занимая этот пост с 1989 г. Он неоднократно возглавлял делегацию своей страны на сессиях Генеральной конференции МАГАТЭ.



На фото слева: В число государств, заключивших Дополнительные протоколы с МАГАТЭ, входит Австрия. Посол Ирен Фройденшусс-Райхль подписала Протокол от имени Австрии на сессии Генеральной конференции МАГАТЭ в сентябре 1998 г. (Calma/IAEA)

МАГАТЭ И Y2K

По просьбе государств-членов МАГАТЭ играет роль координационного центра и контактного пункта по компьютерным вопросам 2000 года — так называемой “проблеме Y2K” — в том, что касается технологии и услуг, имеющих отношение к использованию ядерной энергии в мирных целях. Агентство включило в свою работу план действий, охватывающий соответствующие мероприятия в области ядерной безопасности, медицинских применений, гарантий, а также баз данных и информационных систем МАГАТЭ. Что касается деятельности в области ядерной безопасности, то МАГАТЭ проводит опрос государств-членов относительно принятых или планируе-

мых ими мер по проблеме Y2K. Информация, собранная в результате анкетирования, будет распространена среди государств-членов. В области гарантий Агентство созывает в феврале 1999 г. международный семинар по проблеме Y2K с точки зрения ее влияния на системы, связанные с ядерными гарантиями, и на сохранность ядерных материалов.

Для получения подробной информации и сообщений о ходе работы МАГАТЭ в этой области обратитесь в службы WorldAtom МАГАТЭ в Интернете по адресу: <http://www.iaea.org>. Специальная серия страниц посвящена проблеме Y2K, включая связи с национальными органами власти и другими организациями в государствах — членах Агентства.

ГЕНЕРАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МАГАТЭ ПОДДЕРЖИВАЕТ УКРЕПЛЕНИЕ ПРОГРАММ



Государства — участники сессии Генеральной конференции МАГАТЭ в Вене выразили решительную поддержку мерам по укреплению программ Агентства, относящихся к проверке ядерной деятельности, техническому сотрудничеству, ядерной и радиационной безопасности и безопасности отходов. На заключительных заседаниях Конференции были приняты резолюции в каждой из этих областей.

Сессия Генеральной конференции проходила в Вене с 21 по 26 сентября 1998 г. с участием министров и правительственных делегатов высокого уровня из 105 государств — членов Агентства. Председателем Конференции была избрана посол Роберта Лахоус Варгас (Мексика).

Конференция приняла, среди других, следующие резолюции:

- **Укрепление эффективности и повышение действенности системы гарантий и применение Типового протокола**
- **Укрепление деятельности Агентства по техническому сотрудничеству**
- **Безопасность источников излучения и сохранность радиоактивных материалов**
- **Безопасность перевозки радиоактивных материалов**



Посол Роберта Лахоус Варгас (Мексика) была избрана Председателем Генеральной конференции МАГАТЭ. (Calma/IAEA)

- **Исследование радиационной обстановки на атоллах Муруроа и Фангатауфа**
- **Конвенция о ядерной безопасности**
- **Меры по Проблеме 2000 года**
- **Выполнение Соглашения между Агентством и Корейской Народно-Демократической Республикой по применению гарантий в связи с Договором о нераспространении ядерного оружия**
- **Выполнение резолюций Совета Безопасности ООН по Ираку**
- **Меры по борьбе с незаконным оборотом ядерных материалов и других радиоактивных источников**
- **Ядерные испытания**
- **Применение гарантий МАГАТЭ на Ближнем Востоке**
- **План рентабельного производства питьевой воды**

ЯДЕРНЫЕ ИНСПЕКЦИИ МАГАТЭ В ИРАКЕ

В заявлении, опубликованном 16 ноября 1998 г., Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Баради приветствовал решение Ирака возобновить в полном объеме сотрудничество с МАГАТЭ и Специальной комиссией ООН.

В Багдад вернулся персонал МАГАТЭ, временно перемещенный в Бахрейн 11 ноября по соображениям безопасности. Он приступил к интенсивной программе инспекций установок с целью восстановить непрерывность поступления сведений о состоянии соответствующих технических средств Ирака. В Багдад был направлен дополнительный персонал МАГАТЭ для участия в этих первых мероприятиях и продолжения ранее запланированной работы с целью полного выполнения мандата МАГАТЭ по Ираку, включая его право полного и свободного доступа.

В ноябрьском заявлении д-р эль-Баради отметил, что, как он надеется, состояние дел позволит ему в ближайшем будущем доложить Совету Безопасности ООН о том, что все необходимые действия МАГАТЭ проводятся при полном сотрудничестве со стороны властей Ирака.

■ **Ассигнования по регулярному бюджету на 1999 г.**

Утверждены расходы в размере 224,3 млн. долл. США.

■ **Фонд технического сотрудничества на 1999 г.** Утверждена целевая сумма в размере 73 млн. долл. США.

Полные тексты резолюций, а также документы Конференции, сообщения для печати, резюме заявлений и справочную информацию можно получить через службы WorldAtom МАГАТЭ в Интернете: <http://www.iaea.org/GC/gc42>.

**ЗАЯВЛЕНИЯ
ГЕНЕРАЛЬНОГО
ДИРЕКТОРА МАГАТЭ**

Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Баради выступил на сессии Генеральной Ассамблеи ООН в ноябре 1998 г. с сообщением о работе и задачах Агентства. Полный текст заявления доступен через службы *WorldAtom* МАГАТЭ в Интернете: <http://www.iaea.org>; проверьте Quick Index для установления линий связи с текстами заявлений Генерального директора.

В последнее время на *WorldAtom* добавились заявления д-ра эль-Баради в ряде стран, в том числе:

■ **Международное сотрудничество и будущее ядерной энергии**, заявление на Европейском ядерном конгрессе 1998 г., Ницца, Франция, 26 октября 1998 г.

■ **Заявление на Международном симпозиуме по загрязнению морской среды**, Монако, 5 октября 1998 г. Д-р эль-Баради выступил на от-



крытии симпозиума, где рассматривались крупные проекты сотрудничества по защите морей и океанов (см. информацию на стр. 51).

■ **Заявление на Совещании министров по оценке морской среды в регионе Черного моря**, Монако, 5 октября 1998 г. Открывая совещание, д-р эль-Баради осветил ход работы и проблемы в контексте осуществляемых МАГАТЭ проектов сотрудничества в Черноморском регионе.

■ **Вклад сотрудничества в области ядерной энергии в**

новую эпоху мирового раз-

вития, выступление в Агентстве по ядерной энергии (АЯЭ) Организации экономического сотрудничества и развития, Париж, Франция, 30 сентября 1998 г., по случаю 40-й годовщины АЯЭ.

■ **Выступление на Совете ОЭСР**, Париж, 30 сентября 1998 г. Д-р эль-Баради представил общий обзор работы МАГАТЭ в контексте интересов ОЭСР.

Фото: Генеральный секретарь ООН Кофи Аннан и д-р эль-Баради в Нью-Йорке в ноябре.

**США И РОССИЯ
ПОДПИСЫВАЮТ
ЯДЕРНЫЕ СОГЛАШЕНИЯ**

В ходе Генеральной конференции МАГАТЭ в сентябре 1998 г. в Вене министр энергетики США Билл Ричардсон (на фото слева) и российский министр по атомной энергии Евгений Адамов подписали соглашение о развертывании деятельности коммерческих предприятий в десяти "ядерных городах" России.

Они также подписали совместный доклад, в котором определяются рамочные параметры для разрешения проблем в связи с соглашением о закупках Соединенными Штатами урана из ядерных боеприпасов России (известным как сделка по высокообогащенному урану, или ВОУ).



В совместном докладе по ВОУ устанавливаются рамки для устранения потенциальных препятствий на пути выполнения соглашения, подписанного в 1993 г. В соответствии с этим соглашением Россия производит конверсию высокообо-

гащенного урана, извлеченного из демонтированного ядерного оружия, в низкообогащенный уран, который поставляется в США для использования в коммерческих ядерных реакторах.

ВСЕ БОЛЬШЕ ГОСУДАРСТВ СТАНОВЯТСЯ УЧАСТНИКАМИ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНВЕНЦИЙ

За прошедший год еще несколько государств предприняли шаги по присоединению к международным конвенциям о безопасности и в смежных областях, которые были приняты под эгидой МАГАТЭ.

■ **Конвенция о ядерной безопасности.** В 1998 г. еще семь государств — Италия (15 апреля 1998 г., ратификация), Португалия (20 мая 1998 г., ратификация), Республика Молдова (7 мая 1998 г., присоединение), Украина (8 апреля 1998 г., ратификация), Армения (21 сентября 1998 г., ратификация), Беларусь (29 октября 1998 г., присоединение) и Дания (13 ноября 1998 г., принятие) — выразили согласие взять на себя обязательства по данной Конвенции.

По состоянию на декабрь 1998 г. Конвенцию подписали 65 государств и 49 стали ее участниками.

■ **Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами.** В 1998 г. ряд государств дополнительно подписали или ратифицировали Конвенцию: Канада (7 мая 1998 г., подписание и ратификация), Хорватия (9 апреля 1998 г., подписание), Дания (9 февраля 1998 г., подписание), Греция (9 февраля 1998 г., подписание), Венгрия (2 июня 1998 г., ратификация), Италия (26 января 1998 г., подписание), Норвегия (12 января 1998 г., ратификация), Перу (4 июня 1998 г., ратификация), Филиппины (10 марта 1998 г., подписание), Испания (30 июня 1998 г., подписание), Австрия (17 сентября 1998 г., подписание), Болгария (22 сентября

1998 г., подписание), Словакия (6 октября 1998 г., ратификация), Германия (13 октября 1998 г., ратификация) и Австралия (13 ноября 1998 г., подписание).

По состоянию на декабрь 1998 г. 37 государств подписали Конвенцию и пять государств стали ее участниками.

■ **Конвенция о физической защите ядерного материала.** В 1998 г. Узбекистан и Молдова сдали на хранение документы о присоединении (9 февраля 1998 г. и 7 мая 1998 г., соответственно), а Босния и Герцеговина — документ о правопреемстве (30 июня 1998 г., вступление в силу с 1 марта 1992 г.).

По состоянию на декабрь 1998 г. общее число государств, являющихся сторонами Конвенции, достигло 63.

■ **Венская конвенция о гражданской ответственности за ядерный ущерб.** В 1998 г. Беларусь сдала на хранение ратификационную грамоту (9 февраля 1998 г.), Молдова — документ о присоединении (7 мая 1998 г.) и Босния и Герцеговина — документ о правопреемстве (30 июня 1998 г., вступление в силу с 1 марта 1992 г.).

По состоянию на декабрь 1998 г. общее число государств, являющихся сторонами Конвенции, достигло 31.

■ **Протокол о внесении поправок в Венскую конвенцию о гражданской ответственности за ядерный ущерб.** По состоянию на декабрь 1998 г. Протокол подписали 14 государств: Аргентина, Беларусь, Чешская Республика, Венгрия, Индонезия, Италия, Ливан, Литва, Марокко, Перу, Фи-

липпины, Польша, Румыния и Украина.

■ **Конвенция о дополнительной компенсации за ядерный ущерб.** По состоянию на декабрь 1998 г. Конвенцию подписали 13 государств: Аргентина, Австралия, Чешская Республика, Индонезия, Италия, Ливан, Литва, Марокко, Перу, Филиппины, Румыния, Украина и Соединенные Штаты.

■ **Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации.** В 1998 г. к Конвенции присоединилась Молдова (7 мая 1998 г.), а Босния и Герцеговина стала правопреемником по участию в ней (30 июня 1998 г., вступление в силу с 1 марта 1992 г.).

По состоянию на декабрь 1998 г. общее число государств, являющихся сторонами Конвенции, достигло 77.

■ **Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии.** В 1998 г. к Конвенции присоединилась Молдова (7 мая 1998 г.), а Босния и Герцеговина стала правопреемником по участию в ней (30 июня 1998 г., вступление в силу с 1 марта 1992 г.).

По состоянию на декабрь 1998 г. общее число государств, являющихся сторонами Конвенции, достигло 82.

Для получения самых последних данных о статусе и текстов конвенций обращайтесь в службы WorldAtom МАГАТЭ в Интернете: <http://www.iaea.org>. Чтобы получить быстрый доступ к требуемым страницам, включите "Nuclear Law" ("Ядерное право") в Quick Index на первой странице.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО МИРОВОЙ ОКЕАНСКОЙ СРЕДЕ

На недавно состоявшемся в Монако Международном симпозиуме по загрязнению морской среды рассматривались ключевые проблемы, стоящие перед мировым сообществом, и были намечены направления будущего сотрудничества в глобальном масштабе. Организаторами симпозиума, проходившего 5—9 октября 1998 г., были МАГАТЭ, Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО). В симпозиуме приняли участие ведущие ученые в области борьбы с загрязнением морской среды и представители соответствующих органов ООН и других организаций.

Обращаясь к участникам симпозиума, Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Баради подчеркнул важность исследований загрязнения морской среды, в которых большую роль играют ядерные и изотопные методы. В симпозиуме участвовали

более 400 международных экспертов из 61 государства и восьми международных организаций. Были представлены доклады о новых достижениях в определении источников загрязнения; о поведении и судьбе загрязняющих веществ в морской воде, биоте и седиментах; об использовании радиоактивных и других меток для изучения процессов переноса и циркуляции воды в океане; об исследованиях мест сброса радиоактивных отходов и проведения ядерных испытаний; и о компьютерном моделировании переноса загрязнителей. Были также представлены новые разработки в области высокочувствительных аналитических измерений контаминантов с упором на использование ядерных и изотопных методов. Подробно осветить представленные доклады планирует *Journal of the Science of the Total Environment*. Материалы симпозиума готовятся к изданию в МАГАТЭ.

Декларация по Черному морю. В ходе симпозиума министры стран Черноморского реги-

она, ответственные за вопросы окружающей среды, подписали Декларацию, в которой намечены направления будущего сотрудничества. Среди прочих пунктов в Декларации отмечается ключевая роль проекта технического сотрудничества МАГАТЭ в помощи черноморским странам по повышению их потенциала в научной оценке загрязнения морской среды.

Более подробную информацию о симпозиуме и Лаборатории морской среды МАГАТЭ можно получить через службы *WorldAtom* МАГАТЭ в Интернете: <http://www.iaea.org/monaco>.

Фото: Во время симпозиума МАГАТЭ в присутствии князя Ренье III (второй слева) и принца Альберта (слева) было официально открыто новое здание Лаборатории морской среды МАГАТЭ (ЛМС) в Монако. На церемонии открытия присутствовали также Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Баради (справа), и директор ЛМС г-н Хью Ливингстон (третий слева).



ХОД РЕАЛИЗАЦИИ ИНИЦИАТИВЫ О ПРОВЕРКЕ МАГАТЭ БЫВШЕГО ОРУЖЕЙНОГО МАТЕРИАЛА

Соединенные Штаты, Россия и МАГАТЭ в рамках своей Трехсторонней инициативы планируют дальнейшие шаги по исследованию проблем, связанных с проверкой МАГАТЭ расщепляющегося материала оружейного происхождения, который больше не требуется для целей обороны. Ход реализации этой инициативы рассматривался в сентябре 1998 г. Генеральным директором МАГАТЭ Мохамедом эль-Баради, министром энергетики США Биллом Ричардсоном и министром по атомной энергии Российской Федерации Евгением Адамовым на совещании во время сессии Генеральной конференции МАГАТЭ.

Совещание состоялось после встречи на высшем уровне Россия — США, на котором президенты Ельцин и Клинтон 2 сентября 1998 г. подписали Совместное заявление о принципах обращения и утилизации плутония, заявленного как не являющегося более необходимым для целей обороны. В Заявлении содержится обязательство США и России разработать приемлемые методы и технологию для мер транспарентности, включая соответствующие международные меры по проверке.

Каждое из двух государств выделило около 50 т плутония, которые будут подпадать под действие двустороннего соглашения, вытекающего из этого Совместного заявления. Обращение с плутонием будет включать его хранение в течение длительного периода. В предстоящие годы будут приняты меры для переработки этого плутония в формы, не пригодные для использования в ядерном оружии.

За прошедший год в США, России и штаб-квартире МАГАТЭ состоялись техниче-

ские практикумы, проведение которых планируется и в предстоящем году, так как техническая работа переходит из сферы концепций в стадию практического осуществления.

Стороны также стремятся разработать типовое соглашение о проверке. Ожидается, что другие государства, обладающие ядерным оружием, могут предпринять аналогичные шаги в связи с будущими мерами по сокращению вооружений, и типовое соглашение стало бы одним из средств осуществления международной проверки ядерного разоружения. Стороны рассматри-

вают также варианты финансирования этой деятельности.

Один из вариантов, недавно предложенный д-ром эль-Баради, заключается в создании Фонда проверки контроля над ядерными вооружениями.

Министры Ричардсон и Адамов и д-р эль-Баради согласились, что в предстоящем году работа будет продолжена, с тем чтобы начать осуществление мер проверки в требуемом объеме, и что новая встреча участников Трехсторонней инициативы состоится в сентябре 1999 г. для рассмотрения результатов достигнутого и планов на будущее.

НОВАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА В АЛГ

Специалисты Аналитической лаборатории МАГАТЭ по гарантиям (АЛГ) в Зайберсдорфе, Австрия, применяют новый мощный прибор для анализа ядерных материалов. Новая аналитическая аппаратура получена благодаря совместной акции Франции и Соединенного Королевства в рамках их программ поддержки гарантий. Аппаратура — масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой (ICP/MS) — был передан в дар Соединенным Королевством, а Франция предоставила перчаточные боксы, осуществила установку и испытание аппаратуры, а также обучение научных сотрудников Зайберсдорфской лаборатории.

В рамках проверки системы в минувшем году специалисты АЛГ использовали новую аппаратуру для анализа образцов, отобранных в ходе инспекций МАГАТЭ по гарантиям. Измерения были выполнены профессионально и отличались точностью. В настоящее время АЛГ планирует более полно использовать эту аппаратуру по мере разработки новых технологий для подготовки образцов.

На фото внизу — аналитики АЛГ вместе с представителями Франции и Соединенного Королевства во время демонстрации аппаратуры.



Симпозиум по отработавшему топливу. Эксперты из 35 стран и четырех международных организаций недавно приняли участие в Международном симпозиуме МАГАТЭ по хранению отработавшего топлива энергетических реакторов, который состоялся в Вене. На симпозиуме рассматривались глобальная ситуация, а также политика и практика отдельных стран. Резюме можно получить в службе *WorldAtom* МАГАТЭ: www.iaea.org/worldatom/updates/spentfuel.html.

Конференция сторон в Буэнос-Айресе. В качестве официального наблюдателя МАГАТЭ приняло участие в четвертой Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, состоявшейся 13 ноября

1998 г. в Буэнос-Айресе, Аргентина. МАГАТЭ в настоящее время анализирует значение для перспектив развития ядерной энергетики различных механизмов, принятых на Конференции в рамках одобренного сторонами плана действий в целях завершения разработки положений Киотского протокола 1997 г.

Ядерная медицина в Интернете. Новейшая точная информация о наиболее эффективных мерах профилактики, диагностики и лечения нарушений здоровья с использованием ядерных технологий станет доступной во всем мире через Интернет. Инициатива о введении информации по ядерной медицине в Интернет является результатом совместных усилий МАГАТЭ, Всемирной фе-

дерации ядерной медицины и биологии и некоммерческой организации "Сотрудничество Кохран", основанной в 1993 г. Дополнительная информация содержится на страницах МАГАТЭ Human Health на узле *WorldAtom* Интернета.

Жизнь с радиацией. Национальный совет по радиологической защите Соединенного Королевства выпустил новое издание популярной книги "Жизнь с радиацией". Иллюстрированное 70-страничное издание содержит основную информацию о характере, использовании и опасностях, связанных с радиацией. Дополнительную информацию можно получить в NRPB, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ или через его Web-узел www.nrpb.org.uk.

Междучрежденческое сотрудничество. Срок работы Международной консультативной группы по облучению пищевых продуктов — междучрежденческого органа в составе 47 стран-членов — продлен еще на три года. Ее текущий мандат заканчивается в мае 1999 г. Группа работает под совместным руководством Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций, Всемирной организации здравоохранения и МАГАТЭ. Дополнительную информацию можно получить в Объединенном отделе ФАО/МАГАТЭ, выполняющем функции секретариата Группы, в штаб-квартире МАГАТЭ в Вене.

Исправление. В "Бюллетене МАГАТЭ", том 40, № 3, стр. 25, по недосмотру помещена ошибочная подпись под фотографией. Следует читать: "Аналитическая работа в химической лаборатории в Университете Малайя в Малайзии. В июне 1995 г. Университет принимал совещание участников ПКИ". Редакция приносит читателям извинения за допущенную ошибку.

PTP

Professional Training Programs

Fifty Years of Creating Solutions for Your Training Needs

1998-1999 Courses

Introduction to Radiation Safety
Radiological Surveys in Support of Decommissioning
Environmental Monitoring
Applied Health Physics
MARSSIM
Gamma Spectroscopy
X-Ray Physics for Inspectors
Health Physics for the Industrial Hygienist
Air Sampling for Radioactive Materials

- Experienced Certified Health Physics instructors
- Hands-on exercises and laboratory activities
- Dedicated state-of-the-art nuclear instrumentation
- 13,000 square feet of classrooms and laboratories

Registrar, Professional Training Programs
Oak Ridge Associated Universities
P.O. Box 117, Oak Ridge, TN 37831-0017
Phone: 423-576-3576 • E-mail: Registrar@orau.gov
Please visit our Web site at <http://www.orau.gov/ptp/ptp.htm>

ORAU
OAK RIDGE ASSOCIATED UNIVERSITIES

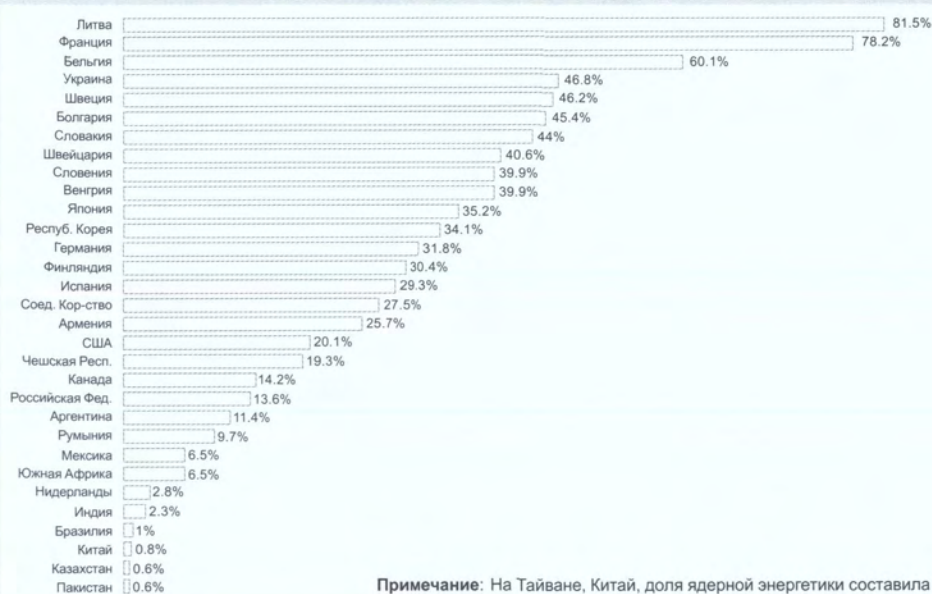
СОСТОЯНИЕ МИРОВОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

	ДЕЙСТВУЮЩИЕ АЭС		СТРОЯЩИЕСЯ АЭС	
	ЧИСЛО ЭНЕРГБЛОКОВ	ОБЩАЯ МОЩНОСТЬ НЕТТО, МВт (эл.)	ЧИСЛО ЭНЕРГБЛОКОВ	ОБЩАЯ МОЩНОСТЬ НЕТТО, МВт (эл.)
АРГЕНТИНА	2	935	1	692
АРМЕНИЯ	1	376		
БЕЛЬГИЯ	7	5 712		
БРАЗИЛИЯ	1	626	1	1 245
БОЛГАРИЯ	6	3 538		
КАНАДА	16	11 994		
КИТАЙ	3	2 167	4	3 090
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	4	1 648	2	1 824
ФИНЛЯНДИЯ	4	2 455		
ФРАНЦИЯ	59	62 853	1	1 450
ГЕРМАНИЯ	20	22 282		
ВЕНГРИЯ	4	1 729		
ИНДИЯ	10	1 695		
ИРАН			2	2 111
ЯПОНИЯ	54	43 850	1	796
КАЗАХСТАН	1	70		
РЕСПУБЛИКА КОРЕЯ	12	9 770	6	5 120
ЛИТВА	2	2 370		
МЕКСИКА	2	1 308		
НИДЕРЛАНДЫ	1	449		
ПАКИСТАН	1	125	1	300
РУМЫНИЯ	1	650	1	650
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	29	19 843	4	3 375
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1 842		
СЛОВАКИЯ	4	1 632	4	1 552
СЛОВЕНИЯ	1	632		
ИСПАНИЯ	9	7 320		
ШВЕЦИЯ	12	10 040		
ШВЕЙЦАРИЯ	5	3 079		
СОЕД. КОРОЛЕВСТВО	35	12 928		
УКРАИНА	16	13 765	4	3 800
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ	107	99 188		
ВСЕГО В МИРЕ*	437	351 795	36	26 813

* В итоговый показатель по состоянию на март 1998 г. включен Тайвань, Китай, где эксплуатируется шесть реакторов общей мощностью 4884 МВт (эл.). Данные в таблице и диаграмме ниже — предварительные, основаны на представленных МАГАТЭ докладах и могут быть изменены. В 1997 г. было закрыто восемь энергоблоков, в том числе пять в Канаде, которые могут быть вновь запущены в будущем.

ДОЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

по состоянию на март 1998 г.



Примечание: На Тайване, Китай, доля ядерной энергетики составила 29,07%.

Редактор. Издательская секция, Отдел публикаций, Департамент администрации (98/077). Данный сотрудник категории Р-3 редактирует рукописи по научной и технической тематике и доводит их до типографии или средств электронного распространения. В частности, редактор обрабатывает рукописи по научно-технической тематике (в том числе по математике) и рисунки в соответствии с редакционной политикой и стилем Агентства; консультирует научный персонал по подготовке электронной продукции; выполняет другие задачи по редактированию, которые могут быть ему поручены главным редактором Издательской секции; поддерживает связь с авторами в отношении научных и технических аспектов рукописей. Для занятия должности требуются университетская степень (предпочтение отдается в первую очередь соответствующей научной области) или эквивалентная ей; шесть лет опыта редактирования научных публикаций; и владение английским языком как родным или основным языком, на котором получено образование.
Срок подачи заявлений: до 19 февраля 1999 г.

Три должности: руководитель группы (Р-5), специалист в области оценки окружающей среды (Р-4) и специалист в области сбросов в окружающую среду (Р-4). Группа подготавливает сброс отходов, Секция безопасности отходов, Отдел радиационной безопасности и безопасности отходов, Департамент ядерной безопасности (98/067). Вакансии открыты в Группе подготавливающих сброс отходов Секции безопасности отходов, которая занимается вопросами контроля радиоактивных сбросов в окружающую среду. Главная функция Группы состоит в установлении норм безопасности для контроля выхода радиоактивности в окружающую среду (воздушную, земную и водную) и в обеспечении применения этих норм. Одним из важных проектов является разра-

ботка норм по защите окружающей среды от ионизирующих излучений. Группа также предоставляет консультации и обеспечивает руководящие принципы по процедурам и методам оценки, моделирования и мониторинга окружающей среды. Группа создает крупную международную программу по совершенствованию и испытанию модели оценки биосферы. Она занимается также созданием и ведением баз данных по сбросам радионуклидов в окружающую среду в мировом масштабе и инвентарного перечня прошлых сбросов отходов в море. Руководитель группы отвечает за разработку и ведение программы Агентства по безопасности подлежащих сбросу отходов. Два специалиста отвечают за выполнение задач, относящихся к программе работы Группы. Для занятия должностей требуются высокая ученая степень университетского уровня или эквивалентная ей в ядерной, химической или других науках, необходимых для выполнения обязанностей; 10 лет (15 — для руководителя Группы) опыта работы в области радиационной защиты и безопасности отходов, из которых по крайней мере 5 лет должны быть связаны с некоторыми аспектами контроля и оценки радиоактивных сбросов в окружающую среду. Для руководителя Группы, кроме того, требуется обширный опыт в этой области, а также подтвержденный документально опыт управления.
Срок подачи заявлений: до 19 февраля 1999 г.

Руководитель группы по системам наблюдения (Р-4), Секция установки и обслуживания оборудования, Отдел технических услуг, Департамент гарантий. Данный сотрудник руководит группой, отвечающей за установку, испытание, запуск и обслуживание оборудования наблюдения для целей гарантий, используемого Департаментом. В обязанности руководителя входят административно-управленческие функции и руководство сотрудниками Группы кате-

горий специалистов и техников, а также обеспечение технического руководства. Для занятия должности требуются университетская степень по электротехнике или электронике и 10-летний опыт соответствующей работы по специальности, включая опыт участия в инспекциях по применению международных гарантий, а также в производстве электромеханического оборудования.

Срок подачи заявления: до 19 февраля 1999 г.

ПРИМЕЧАНИЕ ДЛЯ ЧИТАТЕЛЕЙ

"Бюллетень МАГАТЭ" публикует краткое изложение объявлений о вакансиях в качестве услуги для читателей, интересующихся должностями категории специалистов, которые требуются МАГАТЭ. Они не являются официальными объявлениями и могут быть изменены. МАГАТЭ часто рассылает объявления о вакансиях правительственным органам и организациям в государствах — членах Агентства (как правило, министерству иностранных дел и управлению по атомной энергии), а также отделениям и информационным центрам ООН. Потенциальным претендентам следует поддерживать с ними контакт. Заявления принимаются как от женщин, так и от мужчин, обладающих необходимыми характеристиками. Более конкретную информацию о возможных вакансиях в МАГАТЭ можно получить, обратившись с письмом в Отдел кадров (Division of Personnel, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria).

ОБЪЯВЛЕНИЯ О ВАКАНСИЯХ ПО ИНТЕРНЕТУ

Объявления о вакансиях должностей категории специалистов в МАГАТЭ, а также образцы формы заявления можно получить через глобальную компьютеризованную сеть, в которую имеется прямой доступ. Доступ осуществляется через Интернет. Доступ к ним можно получить через службы WorldAtom МАГАТЭ во Всемирной информационной сети (World Wide Web) по следующему адресу: <http://www.iaea.or.at/worldatom/vacancies>. Также имеется доступ к отдельным основным сведениям о работе в МАГАТЭ и образцу формы заявления. Просьба учесть, что заявления о приеме на работу не могут направляться по компьютерной сети, поскольку они должны быть получены в письменной форме Отделом кадров МАГАТЭ (IAEA Division of Personnel, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria).

PRIS

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ
РЕАКТОРАМ
(ПРИС)

ТИП БАЗЫ ДАННЫХ
Фактические данные

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

Международное агентство по
атомной энергии в сотрудниче-
стве с 29 государствами —
членами МАГАТЭ

КОНТАКТ В МАГАТЭ

IAEA, Nuclear Power
Engineering Section
P.O.Box 100
A-1400 Vienna, Austria
Тел.: (43-1) 2600
Телекс: (1)-12645
Факс: (43-1) 26007
Эл. почта:
r.spiegelberg-planer@iaea.org
Более подробная
информация через службы
МАГАТЭ в Интернет: [http://
www.iaea.org/programmes/a2/](http://www.iaea.org/programmes/a2/)

ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ

Поступающая со всего мира
информация об энергетических
реакторах — действующих,
строящихся, планируемых
и остановленных — и данные
об опыте эксплуатации АЭС
в государствах — членах
МАГАТЭ.

ПОКРЫВАЮЩАЯ
СПОСОБНОСТЬ

Реакторы — состояние, назва-
ние, местоположение,
тип, поставщик, поставщик
турбогенератора, владелец
и эксплуатант установки,
тепловая энергия, полная
и полезная электрическая
мощность, дата начала
строительства, дата получе-
ния первой критичности, дата
первой синхронизации и дата
начала коммерческой эксплуа-
тации, дата остановки, данные
о характеристиках активной
зоны реактора и систем
установки; объем произведен-
ной энергии; запланирован-
ные и внеплановые потери
энергии; коэффициенты
эксплуатационной готовности
и неготовности; коэффициент
использования и коэффициент
нагрузки.

AGRIS

МЕЖДУНАРОДНАЯ ИНФОРМА-
ЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО НАУКЕ
И ТЕХНИКЕ В ОБЛАСТИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
(АГРИС)

ТИП БАЗЫ ДАННЫХ
Библиография

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

Продовольственная и сельско-
хозяйственная организация
Объединенных Наций (ФАО) в
сотрудничестве со 186 нацио-
нальными, региональными и
международными центрами
АГРИС

КОНТАКТ В МАГАТЭ

AGRIS Processing Unit
c/o IAEA, P.O. Box 100
A-1400 Vienna, Austria
Тел.: (43-1) 2600
Телекс: (1)-12645
Факс: (43-1) 26007
Эл. почта: helga.
schmid@iaea.org
Более подробная информация
через службы МАГАТЭ в
Интернет: [http://www.iaea.org/
worldatom/inforesource/agris/](http://www.iaea.org/worldatom/inforesource/agris/)

ЧИСЛО ОПЕРАТИВНО
ДОСТУПНЫХ ЗАПИСЕЙ
С ЯНВАРЯ 1996 г. ПО
НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ
более 210 000

ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ

Поступающая со всего мира
информация о науке и технике
в области сельского хозяйства,
включая лесное хозяйство,
рыбное хозяйство и вопросы
питания.

ПОКРЫВАЮЩАЯ
СПОСОБНОСТЬ

Сельское хозяйство в целом;
территориальное распределение
и история; образование, пропа-
ганда и информация; управление
и законодательство; экономика
сельского хозяйства; развитие и
социология сельского населения;
наука о развитии растений и
животных и их производстве;
защита растений; послеубороч-
ная технология; рыболовство и
сельское хозяйство; сельско-
хозяйственные машины и маши-
ностроение; природные ресурсы;
переработка сельскохозяйствен-
ной продукции; питание челове-
ка; загрязнение окружающей
среды; методология.

NDIS

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИИ ПО
ЯДЕРНЫМ ДАННЫМ
(НДИС)

ТИП БАЗЫ ДАННЫХ
Числовая и библиографическая

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

Международное агентство по
атомной энергии в сотрудничестве
с Национальным центром по
ядерным данным США в
Брукхевенской национальной
лаборатории, Банком ядерных
данных Агентства по ядерной
энергии Организации экономиче-
ского сотрудничества и развития в
Париже, Франция, и всемирной
компьютерной сетью 22 других
центров по ядерным данным

КОНТАКТ В МАГАТЭ

IAEA Nuclear Data Section,
P.O. Box 100
A-1400 Vienna, Austria
Тел.: (43-1) 2600
Телекс: (1)-12645
Факс: (43-1) 26007
Эл. почта:
o.schwerer@iaea.org
Более подробная информация
через службы МАГАТЭ в
Интернет: <http://www.nds.iaea.org/>

ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ

Файлы числовых данных по ядер-
ной физике с описанием взаимо-
действия радиации с материей и
относящиеся к ним библиографи-
ческие данные.

ТИПЫ ДАННЫХ

Оцененные данные
нейтронной реакции в формате
ENDF; экспериментальные дан-
ные ядерной реакции в формате
EXFOR для реакций, вызванных
нейтронами, заряженными час-
тицами или фотонами; данные о
периодах ядерного полураспада
и радиоактивного распада в
системах NUDAT и ENSDF; отно-
сящаяся к ним библиографиче-
ская информация из баз данных
CINDA и NSR МАГАТЭ; различ-
ные другие типы данных.

Примечание: Автономные выбор-
ки данных, извлеченных из НДИС,
могут быть также получены от
изготовителя на магнитной
ленте.

AMDIS

ИНФОРМАЦИОННАЯ
СИСТЕМА ПО АТОМНЫМ
И МОЛЕКУЛЯРНЫМ ДАННЫМ
(АМДИС)

ТИП БАЗЫ ДАННЫХ
Числовая и библиографическая

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

Международное агентство по
атомной энергии в сотрудниче-
стве с сетью Международного
центра атомных и молекулярных
данных, группой
16 национальных центров
данных из нескольких стран

КОНТАКТ В МАГАТЭ

IAEA Atomic and Molecular Data
Unit, Nuclear Data Section
Эл. почта:
j.a.stephens@iaea.org
Более подробная информация
через службы МАГАТЭ в
Интернет:
[http://www.iaea.org/programs/
ri/nds/amdisintro.htm](http://www.iaea.org/programs/ri/nds/amdisintro.htm)

ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ

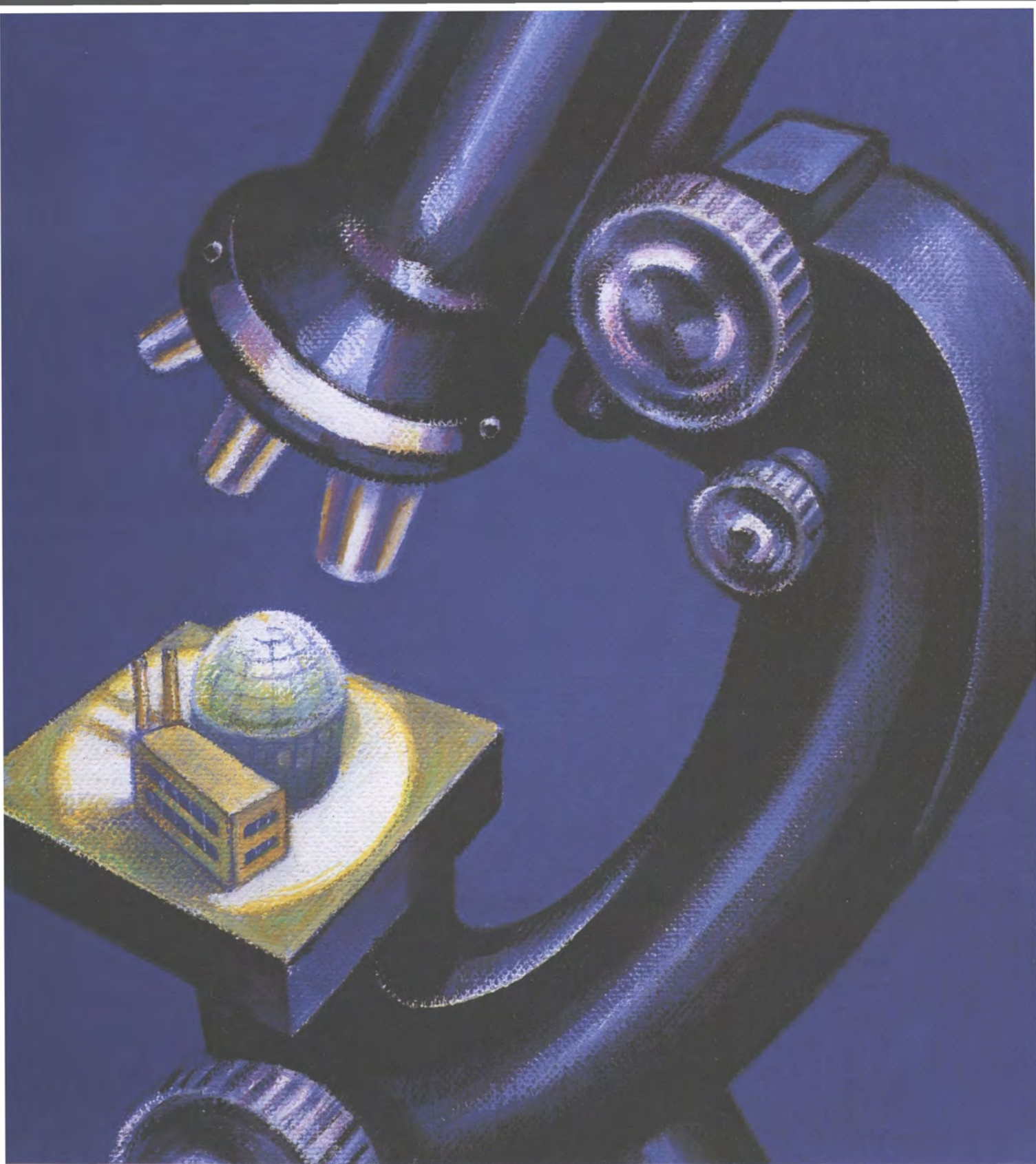
Данные о взаимодействии ато-
мов, молекул, плазма—поверх-
ность и свойствах материалов,
представляющих интерес для
исследования и технологии
термоядерного синтеза

ПОКРЫВАЮЩАЯ
СПОСОБНОСТЬ

Включает данные в формате
ALADDIN о структуре и спектрах
атома (энергетические уровни,
длины волн и вероятности пре-
ращения); соударения элект-
ронов и тяжелых частиц с ато-
мами, ионами и молекулами
(сечения и/или коэффициенты
скорости, включая в большин-
стве случаев анализ, пригодный
для данных); разбрызгивание
поверхностей под воздействием
главных составляющих плазмы
и саморазбрызгивание;
отражение частиц от
поверхностей; термофизические
и термомеханические свойства
бериллия и пиролитических
графитов.

Примечание: Автономные
выборки данных и библиогра-
фических сведений, а также
программное обеспечение и
руководство по использованию
интерфейса ALADDIN могут
быть также получены от
изготовителя на дискетах,
магнитной ленте или в виде
распечатки.

Для получения доступа к этим базам данных просьба обратиться к изготовителям. Информацию из этих баз данных можно также приобрести у изготовителя в печатной форме. Кроме того, ИНИС и АГРИС имеются на КД-ЗПУ (CD-ROM). Полный перечень баз данных МАГАТЭ можно получить через службы **WorldAtom** Агентства в Интернете по адресу: <http://www.iaea.org/database/dbdir/>.



NO-ONE KNOWS MORE ABOUT THE NUCLEAR INDUSTRY.

Wherever you look, you won't find anyone with a greater magnitude of nuclear experience than BNFL. Our know-how goes back over 45 years.

With our depth of knowledge and breadth of activity, no-one has a greater ability to provide an integrated nuclear solution. Nor will you see anyone more focused on customer needs.

Firstly, we've the expertise to manufacture fuel. Then, when it has been used, the technology to transport and recycle it back into new fuel.

And when it's time to decommission and clean up redundant plant, we are equally in demand - to the scale of £2.5 billion worldwide.

In fact, we're very visible in no less

than 11 key nuclear areas, including actual power generation.

If you want to see for yourself, you can find us in Belgium, China, France, Germany, Japan, Russia, Republic of Korea, UK, Ukraine and the USA.

To find out more about what we can do for you, contact The Commercial Department, BNFL, Risley, Warrington,

Cheshire WA3 6AS, UK. Tel +44 1925 832055, Fax +44 1925 834018, E-mail sales @BNFL.com or visit our website at www.BNFL.com



КАК ЗАКАЗАТЬ ПОСТУПАЮЩИЕ В ПРОДАЖУ ПУБЛИКАЦИИ

Публикации МАГАТЭ можно приобрести
по указанным адресам или у крупных местных книготорговцев.
Оплата может производиться в местной валюте
или купонами ЮНЕСКО.

АВСТРАЛИЯ

Hunter Publications
58A Gipps Street, Collingwood, Victoria 3006
Тел.: +61 3 9417 5361
Факс: +61 3 9419 7154
Эл. почта: jpdavies@ozemail.com.au

БЕЛЬГИЯ

Jean de Lannoy
202 Avenue du Roi, B-1060 Brussels
Тел.: +32 2 538 4308; факс: +32 2 538 08 41
Эл. почта: jean.de.lannoy@infoboard.be
Узел Web: <http://www.jean-de-lannoy.be>

БРУНЕЙ

Через магазин в Малайзии

ВЕНГРИЯ

Librotrade Ltd., Book Import
P.O. Box 126, H-1656, Budapest
Тел.: +36 1 257 7777; факс: +36 1 257 7472
Эл. почта: books@librotrade.hu

ГЕРМАНИЯ

UNO-Verlag, Vertriebs-und Verlags
Dag Hammarskjöld-Haus
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn
Тел.: +49 228 94 90 20
Факс: +49 228 21 74 92
Эл. почта: unoverlag@aol.com
Узел Web: <http://www.uno-verlag.de>

ДАНИЯ

Munksgaard International Publishers
P.O. Box 2148, DK-1016 Copenhagen K
Тел.: +45 33 12 85 70; факс: +45 33 12 93 87
Эл. почта: subscription.service@mail.munksgaard.dk
Узел Web: <http://www.munksgaard.dk>

ЕГИПЕТ

The Middle East Observer
41 Sherif Street, Cairo
Тел.: +20 2 3939 732; 3926 919
Факс: +20 2 3939 732, 3606 804
Эл. почта: fouda@soficom.com.eg

ИЗРАИЛЬ

YOZMOT Literature Ltd.
P.O. Box 56055, IL-61560, Tel Aviv
Тел.: +972 3 5284851; факс: +972 3 5285397

ИНДИЯ

Viva Books Private Limited
4325/3, Ansari Road, Darya Ganj,
New Delhi-110002
Тел.: +91 11 327 9280; 328 3121; 328 5874
Факс: +91 11 326 7224
Эл. почта: vinod.viva@gndel.globalnet.ems.vsnl.net.in

ИСПАНИЯ

Diaz de Santos, Lagasca 95
E-28006 Madrid
Тел.: +34 1 431 24 82; факс: +34 1 575 55 63
Эл. почта: madrid@diazdesantos.es

Diaz de Santos
Balmes 417, E-08022 Barcelona
Тел.: +34 3 212 8647; факс: +34 3 211 4991
Эл. почта: balmes@diazsantos.com
Общая эл. почта: librerias@diazdesantos.es
Узел Web: <http://www.diazdesantos.es>

ИТАЛИЯ

Libreria Scientifica Dott.
Lucio di Biasio, "AEIOU", Via Coronelli 6,
I-20146 Milan
Тел.: +39 2 48 95 45 52; 48 95 45 62
Факс: +39 2 48 95 45 48

КИТАЙ

IAEA Publications in Chinese:
China Nuclear Energy Industry Corporation,
Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

МАЛАЙЗИЯ

Parry's Book Center Sdn. Bhd
60 Jalan Nagara, Taman Melawati
53100 Kuala Lumpur, Malaysia
Тел.: +60 3 4079176; 4079179; 4087235,
4087528
Факс: +60 3 407 9180
Эл. почта: haja@pop3.jaring.my
Узел Web: <http://www.mol.net.my/~parrybooks/parry.htm>

НИДЕРЛАНДЫ

Martinus Nijhoff International
P.O. Box 269, NL-2501 AX, The Hague
Swets and Zeitlinger b.v.,
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse
Тел.: +31 793 684 400; факс: +31 793 615 698
Эл. почта: info@nijhoff.nl
Узел Web: <http://www.nijhoff.nl>

ПОЛЬША

Ars Polona
Foreign Trade Enterprise
Krakowskie Przedmiescie 7
PL-00-068 Warsaw
Тел.: +4822 826 1201, доб. 147, 151, 159
Факс: +48 22 826 6240
Эл. почта: ars_pol@bevy.hsn.com.pl
Узел Web: <http://www.arspolona.com.pl>

СИНГАПУР

Parry's Book Center Pte. Ltd.
P.O. Box 1165
Singapore 913415
Тел.: +65 744 8673; факс: +65 744 8676
Эл. почта: yabe@maruzen.co.jp
Узел Web: <http://www.maruzen.co.jp>

СЛОВАКИЯ

Alfa Press Publishers
Hurbanovo námestie 3, SQ-815 89, Bratislava
Тел./факс: +421 7 566 0489

СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО

The Stationery Office, International Sales Agency
51 Nine Elms Lane, London SW8 5DR
Тел.: +44 171 873 9090
Факс: +44 171 873 8463
Эл. почта, заказы: book.orders@theso.co.uk
Запросы: ipa.enquiries@theso.co.uk

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ И КАНАДА

BERNAN ASSOCIATES
4611-F Assembly Drive, Lanham,
MD 20706-4391, USA
Тел.: 1-800-274-4447 (бесплатно)
Факс: (301) 459-0056; 1-800-865-3450
(бесплатно)
Эл. почта: query@bernan.com
Узел Web: <http://www.bernan.com>

ЯПОНИЯ

Maruzen Company, Ltd.
P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International

ВНЕ США И КАНАДЫ

International Atomic Energy Agency
Sales and Promotion Unit
Wagramerstr. 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna,
Austria
Тел.: +43 1 2060 (22529, 22530)
Факс: +43 1 2060 29302
Эл. почта: sales.publications@iaea.org
Узел Web: <http://www.iaea.org/worldatom/publications>

**СЕРИЯ ИЗДАНИЙ ТРУДОВ
КОНФЕРЕНЦИЙ
ISOTOPE TECHNIQUES IN THE STUDY OF
ENVIRONMENTAL CHANGE**
Proceedings of an international symposium
Vienna, 14-18 April 1998
ISBN 92-0-100598-9, ATS2720

**TOWARDS LIVESTOCK DISEASE
DIAGNOSIS AND CONTROL IN THE 21ST
CENTURY**
Proceedings of an FAO/IAEA international
symposium, Vienna, Austria, 7-11 April 1997
ISBN 92-0-102498-3, ATS1800

**СЕРИЯ ДОКЛАДОВ ПО
РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ
THE RADIOLOGICAL SITUATION AT THE
ATOLLS OF MURUROA AND FANGATAUFA**
Reports by an International Advisory Group
ISBN 92-0-001898-X (Executive Summary,
ATS200) ISBN 92-0-101198-9 English and
ISBN 92-0-203498-2 French (Main Report,
ATS1200)
ISBN 92-0-101298-5 English and ISBN 92-0-
203598-9 French (Summary Report, ATS280)

**RADIOLOGICAL CONDITIONS AT BIKINI
ATOLL: PROSPECTS FOR RESETTLEMENT**
ISBN 92-0-100398-6, ATS280

**THE RADIOLOGICAL ACCIDENT IN THE
REPROCESSING PLANT AT TOMSK**
ISBN 92-0-103798-8, ATS320

**THE RADIOLOGICAL ACCIDENT IN
TAMMIKU**
ISBN 92-0-100698-5, ATS280

**СЕРИЯ ДОКЛАДОВ ПО БЕЗОПАСНОСТИ
LESSONS LEARNED FROM ACCIDENTS IN
INDUSTRIAL RADIOGRAPHY**
Safety Reports Series No. 7
ISBN 92-0-103098-3, ATS280

**SAFE HANDLING AND STORAGE OF
PLUTONIUM**
Safety Reports Series No. 9
ISBN 92-0-102998-5, ATS360

**PLANNING THE MEDICAL RESPONSE TO
RADIOLOGICAL ACCIDENTS**
Safety Reports Series No. 4
ISBN 92-0-102598-X, ATS200

**DIAGNOSIS AND TREATMENT OF
RADIATION INJURIES**
Safety Reports Series No. 2
ISBN 92-0-100498-2, ATS280

**СЕРИЯ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ
ENERGY, ELECTRICITY AND NUCLEAR
POWER ESTIMATES FOR THE PERIOD
UP TO 2015**
Reference Data Series No. 1
ISBN 92-0-103398-2, ATS120

Все цены указаны в австрийских
шиллингах (ATS). Более подробную
информацию об этих и других по-
ступающих в продажу публикациях
МАГАТЭ можно получить в Отделе
публикаций Агентства (эл. почта:
sales.publications@iaea.org). Полный
список публикаций доступен через
службу WorldAtom МАГАТЭ в
Интернете по адресу:
<http://www.iaea.org>

Canberra Safeguards Systems...



A World of Support

Safeguards requires experience, reliability, reproducibility, worldwide support and, above all, an understanding of the requirements of the various international and domestic agencies that share a common mission to control the spread of nuclear weapons. Safeguards is an application that requires a company like Canberra – a company that offers, not only the technical expertise, but also the experience and resources necessary to meet our customers' need for integrated and remote safeguards solutions.

The recent addition of the Aquila safeguards product lines of asset tracking devices, seals, and surveillance systems has increased our ability to meet the total needs of our safeguards customers.

Our commitment to nuclear safeguards is total – from portable instruments used to conduct independent verification measurements, to complex unattended safeguards measurement systems used to monitor nuclear material in the world's largest reprocessing plants – from surveillance cameras used to continuously record activities in safeguarded facilities to electronic tags and seals used to prevent undetected tampering of equipment or containers.

For the total solution to your safeguards requirements, contact Canberra to see how...

Real People tackle Real Challenges and offer Real Solutions.



Canberra Industries
800 Research Parkway, Meriden, CT 06450 U.S.A.
Tel: (203) 238-2351 Toll Free 1-800-243-4422
FAX: (203) 235-1347 <http://www.canberra.com>

With Offices In: Australia, Austria, Belgium, Canada,
Central Europe, Denmark, France, Germany, Italy,
Netherlands, Russia, United Kingdom.

МАГАТЭ ПРОЕКТЫ КООРДИНИРОВАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование ядерных методов для разработки практических способов комплексного регулирования питательных веществ и воды в агролесных системах

Агролесоводство — это система землепользования, включающая деревья в различных сочетаниях с растительными культурами, пастбищами и животными, целью которой является максимально использовать кругооборот питательных веществ и обеспечить сохранение почвы и воды. Проект будет сосредоточен на изучении выгод в обеспечении питательными веществами и водой, которые приносят деревья, в системах с растительными культурами. Исследование с применением ядерных методов позволит оценить влияние деревьев на содержание азота и углерода в почве с течением времени. Для оценки воздействия деревьев на наличие воды и последующего влияния воды на наличие и кругооборот питательных веществ будет получен минимальный набор данных о грунтовых водах. Эта информация будет использована для модификации практики управления в целях повышения эффективности потребления воды и питательных веществ в агролесных системах.

Биодозиметрия с применением электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)

Цель проекта — разработка стандартизированных методов биодозиметрии с применением ЭПР, направленных на достижение сравнимости процедур и полученных результатов. Утвержденную унифицированную методологию планируется опубликовать в 2000 г. в качестве доклада МАГАТЭ по безопасности.

Испытание параметров ядерной модели для оценки ядерных данных

ПКИ имеет целью создание библиотеки хорошо проверенных и достоверных входных параметров для расчетов данных по ядерным реакциям на основе ядерных моделей. Библиотека будет включать все входные параметры для теоретических оценок сечений ядерных реакций при применении низких энергий и дополняться стандартными программными интерфейсами с обычно используемыми кодами ядерных реакций, чтобы способствовать их применению в практических расчетах.

Обновление стандартов данных рентгеновского и гамма-распада для калибровки детекторов

Целью ПКИ является создание высокоточной и международно признанной базы данных стандартов для повышения точности калибровки детекторов, используемых при применении гарантий, в анализе материалов, мониторинге окружающей среды, медицине, обращении с отходами, дозиметрии и основной спектроскопии.

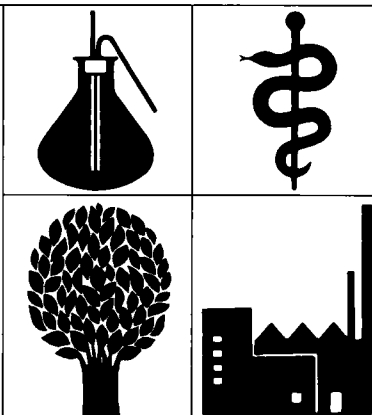
Динамика переноса радионуклидов в источниках пресной воды

Программа направлена на оценку факторов, управляющих миграцией радионуклидов в почве и грунтовых водах. Особый интерес представляет оценка режимов и параметров миграции радионуклидов в разнообразных геохимических условиях окружающей среды за относительно продолжительный период времени (10—50 лет). Ожидается, что результаты этого исследования предоставят данные для обоснования математических моделей и окажут помощь при разработке соответствующих измерений для предотвращения загрязнения источников пресной воды. Программа будет осуществляться в 1999 г. с привлечением исследователей, работающих в области ядерной гидрогеологии, органов по контролю качества воды, базовых исследовательских лабораторий и университетов.

Ухудшение механических и физических свойств сплавов на основе циркония, индустриальное водородом и гидридами

Цель исследования — обеспечить данные и обоснование моделей для прогноза водородного перераспределения и осаждения, а также замедления водородного крекинга; и передать ноу-хау, особенно в тех областях, где требуются качественные и субъективные интерпретации результатов.

Приведенный выборочный перечень может быть изменен. Более полную информацию о мероприятиях можно получить в Секции конференционного обслуживания МАГАТЭ в штаб-квартире Агентства в Вене, из периодических публикаций Отдела общественной информации МАГАТЭ *Meetings on Atomic Energy* и через службы *WorldAtom* Агентства в Интернете по адресу: <http://www.iaea.org>. Более подробную информацию о проектах координированных исследований МАГАТЭ можно получить в Секции исследовательских контрактов в штаб-квартире МАГАТЭ. Программы предназначены для облегчения глобального сотрудничества по научным и техническим вопросам в различных областях — от применения излучений в медицине, сельском хозяйстве и промышленности до технологии и безопасности ядерной энергетики.



МАГАТЭ СИМПОЗИУМЫ И СЕМИНАРЫ 1999 г.

Выборочный перечень

ЯНВАРЬ

Международный семинар по терапевтическим применениям радиофармацевтических препаратов
Хайдарабад, Индия, 18—22 января

ФЕВРАЛЬ

Международный семинар по проблеме 2000 года (Y2K): ход решения и сотрудничество
Вена, Австрия, 1—5 февраля

МАЙ

Международный симпозиум по изотопным методам в области развития и освоения водных ресурсов
Вена, Австрия, 10—14 мая

Международный симпозиум по технологиям топливного цикла СОР для применения в среднесрочной и долгосрочной перспективе: опыт, достижения, тенденции
Вена, Австрия, 17—21 мая

ИЮНЬ

Международная конференция по укреплению ядерной безопасности в Восточной Европе
Вена, Австрия, 14—18 июня

АВГУСТ

Международный симпозиум по технологиям обращения с радиоактивными отходами от атомных электростанций и операций конечной стадии ядерного топливного цикла
Тежон, Республика Корея, 30 августа — 3 сентября

СЕНТЯБРЬ

Международный симпозиум по использованию, безопасности и управлению исследовательскими реакторами
Лиссабон, Португалия, 6—10 сентября

Генеральная конференция МАГАТЭ
Вена, Австрия, 27 сентября — 4 октября

ОКТАБРЬ

Международный семинар по методам мутации и молекулярной генетике для улучшения тропических и субтропических растений в регионе Азии и Тихого океана
Филиппины, 11—15 октября

Международный семинар по укреплению гарантий: современное состояние
Вена, Австрия, 18—22 октября

Международная конференция по облучению в целях обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов
Марракеш, Марокко, 18—22 октября

Международный семинар по очистке и восстановлению мест с остаточной радиоактивностью
США (предварительно)

ДРУГИЕ СОВЕЩАНИЯ 1999 г.

Первое совещание по рассмотрению Договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности
Вена, Австрия, 12—30 апреля 1999 г.

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ
МЕЖДУНАРОДНОГО АГЕНТСТВА
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Выпускается

Отделом общественной информации
Международного агентства по атомной
энергии

P.O. Box 100, A-1400

Vienna, Austria.

Тел.: (43-1) 2600-21270

Факс: (43-1) 26007

Эл. почта: official.mail@iaea.org

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР:

д-р Мохамед эль-Баради

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЕНЕРАЛЬНОГО

ДИРЕКТОРА: г-н Дэвид Уоллер,

г-н Бруно Пелло, г-н Виктор Мурогов,

г-н Сузо Мати, г-н Цзянь Цзихуэй,

г-н Зигмунд Домарацки

ДИРЕКТОР ОТДЕЛА ОБЩЕСТВЕННОЙ

ИНФОРМАЦИИ: г-н Дэвид Кид

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

г-н Лотар Х. Ведекинд

ПОМОЩНИК РЕДАКТОРА: г-жа Риту Кенн

МАКЕТ/ДИЗАЙН: г-жа Риту Кенн,

г-н С. Бродек, Вена

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

г-жа А. Шиффманн, г-жа Р. Шпигельберг,

г-жа Мелани Конц-Клингсбегель

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ГРУППА:

г-н П. Витциг, г-н Р. Келлерхер,

г-н Д. Шродер, г-н Р. Брайтенеккер,

г-н Х. Баумгартнер, г-жа П. Мэррей,

г-жа М. Ляхова, г-н А. Адлер,

г-н Р. Луттенфельднер, г-н Л. Ниметцки

ИЗДАНИЯ НА ЯЗЫКАХ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРЕВОДА:

Отдел переводов МАГАТЭ

ИСПАНСКОЕ ИЗДАНИЕ: Служба письменных

и устных переводов (ESTI), Гавана, Куба,

перевод; г-н Л. Эрреро, редактор издания

КИТАЙСКОЕ ИЗДАНИЕ: Бюро переводов

Промышленной корпорации по атомной

энергии Китая, Пекин; перевод, печать,

распространение

РУССКОЕ ИЗДАНИЕ: ЗАО "Интердиалект+",

Москва; перевод, печать, распространение

ФРАНЦУЗСКОЕ ИЗДАНИЕ: Французская секция

МАГАТЭ, перевод; г-жа Ложье-Ямасита,

подготовка макета.

РЕКЛАМНЫЕ ОБЪЯВЛЕНИЯ

Рекламную корреспонденцию следует

направлять в Отдел публикаций МАГАТЭ,

Sales and Promotion Unit, P.O. Box 100,

A-1400 Vienna, Austria. Телефон,

факс и электронная почта указаны выше.

"Бюллетень МАГАТЭ" распространяется бесплатно среди ограниченного круга читателей, проявляющих интерес к деятельности МАГАТЭ и использованию атомной энергии в мирных целях. Заявки в письменном виде следует направлять в редакцию. Свободное использование материалов МАГАТЭ, публикуемых в "Бюллетене МАГАТЭ", разрешается со ссылкой на источник. Если автор статьи не является сотрудником МАГАТЭ, то для перепечатки материалов статьи, за исключением цитат при рецензировании, необходимо разрешение автора или организации, от имени которой представлена статья. Точки зрения, содержащиеся в помещенных в "Бюллетене МАГАТЭ" статьях и рекламных материалах, не обязательно отражают мнение Международного агентства по атомной энергии, и МАГАТЭ не несет за них никакой ответственности.

ГОСУДАРСТВА — ЧЛЕНЫ МАГАТЭ

1957 г.

Австралия

Австрия

Албания

Аргентина

Афганистан

Беларусь

Болгария

Бразилия

Венгрия

Венесуэла

Вьетнам

Гаити

Гватемала

Германия

Греция

Дания

Доминиканская

Республика

Египет

Израиль

Индия

Индонезия

Исландия

Испания

Италия

Канада

Корея, Республика

Куба

Гана

Марокко

Монако

Мьянма

Нидерланды

Новая Зеландия

Норвегия

Пакистан

Парагвай

Перу

Польша

Португалия

Российская Федерация

Румыния

Сальвадор

Святейший Престол

Соединенное Королев-

ство Великобритании

и Северной Ирландии

Соединенные Штаты

Америки

Таиланд

Тунис

Турция

Украина

Франция

Швейцария

Швеция

Шри-Ланка

Эфиопия

Югославия

Южная Африка

Япония

1958 г.

Бельгия

Иран, Исламская

Республика

Камбоджа

Люксембург

Мексика

Судан

Филиппины

Финляндия

Эквадор

1959 г.

Ирак

1960 г.

Гана

Колумбия

Сенегал

Чили

1961 г.

Демократическая

Республика Конго

Ливан

Мали

1962 г.

Либерия

Саудовская Аравия

1963 г.

Алжир

Боливия

Кот-д'Ивуар

Ливийская Арабская

Джамахирия

Сирийская Арабская

Республика

Уругвай

1964 г.

Габон

Камерун

Кувейт

Нигерия

1965 г.

Кения

Кипр

Коста-Рика

Мадагаскар

Ямайка

1966 г.

Иордания

Панама

1967 г.

Сингапур

Сьерра-Леоне

Уганда

1968 г.

Лихтенштейн

1969 г.

Замбия

Малайзия

Нигер

1970 г.

Ирландия

1972 г.

Бангладеш

1973 г.

Монголия

1974 г.

Маврикий

1976 г.

Катар

Объединенная

Республика Танзания

Объединенные

Арабские Эмираты

1977 г.

Никарагуа

1983 г.

Намибия

1984 г.

Китай

1986 г.

Зимбабве

1992 г.

Словения

Эстония

1993 г.

Армения

Литва

Словакия

Хорватия

Чешская

Республика

1994 г.

Бывшая югославская

Республика

Македония

Йемен

Казахстан

Маршалловы Острова

Узбекистан

1995 г.

Босния и Герцеговина

1996 г.

Грузия

1997 г.

Латвия

Мальта

Республика Молдова

1998 г.

Бенин

Буркина-Фасо

Для вступления Устава МАГАТЭ в силу требовалось 18 ратификаций. По состоянию на 29 июля 1957 г. государства, названия которых выделены жирным шрифтом (включая бывшую Чехословакию), ратифицировали Устав.

Год указывает на год вступления. Названия некоторых государств не всегда соответствуют их названиям в прошлом.

Членство государств, выделенных курсивом, утверждено Генеральной конференцией МАГАТЭ и вступает в силу с момента сдачи на хранение требуемых юридических документов.



Международное агентство по атомной энергии, которое было учреждено 29 июля 1957 г., является независимой межправительственной организацией в системе ООН. Штаб-квартира Агентства находится в Вене, Австрия, и в настоящее время его членами являются 128 государств, которые сообщают о достижениях основных целей, зафиксированных в Уставе МАГАТЭ: содействие достижению более быстрого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире, а также по мере возможности обеспечение того, чтобы мощь, предоставляемая им или по его требованию, или под его наблюдением или контролем, не была использована таким образом, чтобы способствовать какой-либо военной цели.

Штаб-квартира МАГАТЭ в Венском международном центре.

Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

ALOKA

ALOKA CO., LTD.

6-22-1 Mure, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan

Telephone: (0422) 45-5111

Facsimile: (0422) 45-4058

Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section
Overseas Marketing Dept.
Attn: N. Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 μ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 μ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 μ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal ~ fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



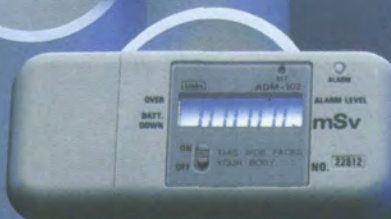
PDM-173



PDM-101



PDM-303



ADM-102