



# РАДИОАКТИВНОЕ ЭХО "ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ": РАДИОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ

АБЕЛЬ Х. ГОНСАЛЕС

**О**дной 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 ожидается 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”. Ставила 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 Энвенток); 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.

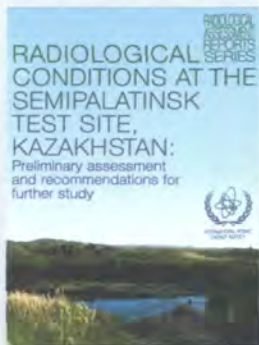
Испытания на полигоне Лобнор в Западном Китае включали 22 взрыва в атмосфере, проведенных в период между 1964 и 1980 гг., в то время как подземные испытания продолжались вплоть до 1996 г. В Азиатском регионе ядерное устройство было также испытано в Индии в 1974 г., а в мае 1998 г. испытания были проведены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

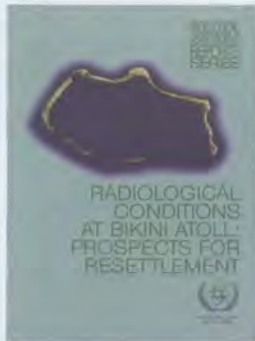


### Муруроа и Фангатауфа, Французская Полинезия.

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).

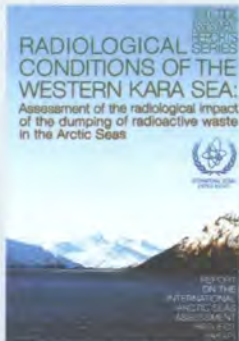
Результаты исследования обнадеживают: никогда прежде не имевшие постоянного населения атоллы могли бы быть безопасно заселены в будущем, поскольку самые высокие дозы радиации будут ниже пренебрежимо низкого уровня 0,25 мЗв в год при самых неблагоприятных гипотетических условиях проживания.



### 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).

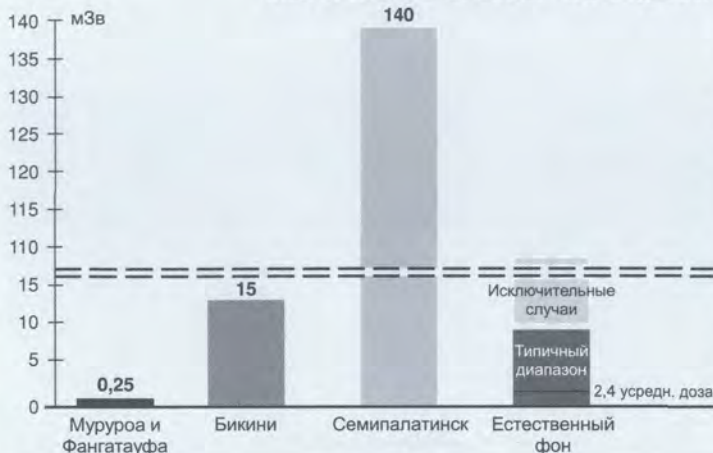


### Арктические моря, Российская Федерация.

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 завершен 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.

В связи с этим был принят и недавно завершен 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), Окридж, 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);  $1 \times 10^9$  Бк, или гигабеккерель (ГБк);  $1 \times 10^{12}$  Бк, или терабеккерель (ТБк);  $1 \times 10^{15}$  Бк, или петабеккерель (ПБк);  $1 \times 10^{18}$  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)				Расчетная активность (исключая локальные выпадения)				
	Нормализованный выброс (ГБк/Мт)		Суммарная активность всех испытаний (ЗБк)		Нормализованный выброс (ГБк/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 *атоллах* — 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, лаборатория), 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

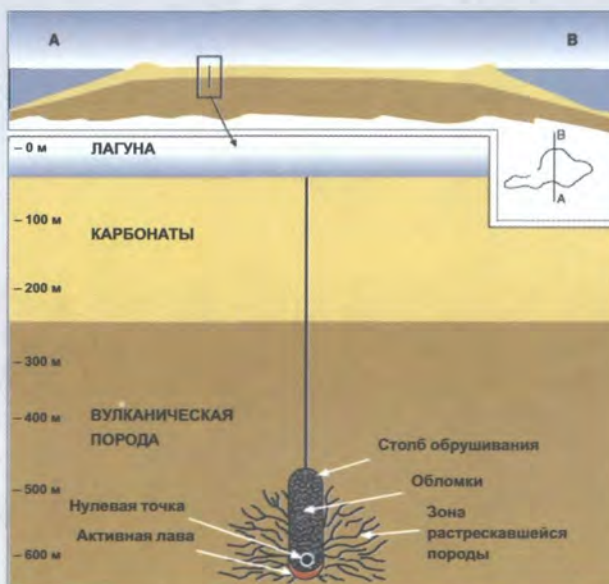


Рисунок: Подземное испытание на атолле.

## 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.

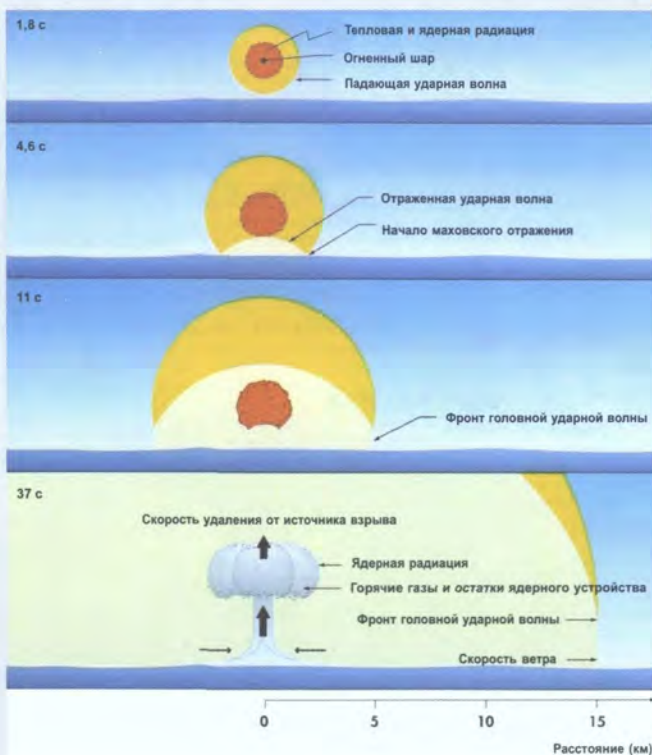
Общее число испытаний в атмосфере, проведенных всеми странами, составило 541 взрыв суммарной мощностью 440 мегатонн. На 25 атмосферных испытаний приходится почти 66% суммарной мощности взрывов всех испытаний.

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 осаждения 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 тропопаузу 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 трансураниевых 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.*

