

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 ^а	0,004 ^а
С приемом пищи: морепродукты	0,0043 ^б	0,00001 ^б
Всего	~0,006	~0,005

^а Неопределимая часть этой дозы обусловлена глобальными выпадениями.

^б 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)

атолах 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-Амперер. 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. □