

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 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 атоллах 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 ресуспандированных 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 Турей 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 несоответствия. 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 высокоактивных 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 той 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-

ществлялась 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 имеющихся 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 подавались 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 стократное 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.

Анализ установил 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, сохранившиеся 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).

