

ГЛОБАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОРСКОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ

ПАВЕЛ П. ПОВИНЕК И ОРИХИКО ТОГАВА

В результате деятельности человека в морской среде обнаруживается все больше источников радиоактивности. В число известных источников входят глобальные радиоактивные выпадения от испытаний ядерного оружия в атмосфере, чернобыльская авария, выбросы радионуклидов от ядерных установок, прошлые сбросы радиоактивных отходов, аварии на ядерных подводных лодках, ядерные испытательные полигоны, потери источников радиоактивности и сгорание спутников, в которых в качестве энергоисточников используются радиоизотопы.

В целом радионуклиды, содержащиеся в мировой морской среде, различаются от региона к региону. Различия вызваны динамикой происходящих в морской среде процессов и наличием конкретного источника радионуклидов в данном регионе. Поэтому для научной оценки морской радиоактивности необходимо знание как особенностей источника, так и океанических процессов.

Радиоактивность распределяется по Мировому океану неравномерно. Известно, что основным источником глобальных выпадений радиоактивных осадков стали испытания ядерного оружия, проводившиеся в 60-х гг. С другой стороны, выбросы заводов по переработке ядерного топлива или прошлые сбросы жидких и твердых радиоактивных отходов, как правило, загрязняют более ограниченные районы. Но даже

при этом растворы, содержащие радионуклиды, переносятся на большие расстояния господствующими океанскими течениями.

Для оценки поступления радионуклидов от локальных источников ученым необходимо лучше представлять себе картину распределения радионуклидов по мировым морям и океанам. Это важно для анализа результатов научных исследований локализованных участков, таких как места прошлых сбросов, которые затем могут быть исследованы более тщательно.

В качестве вклада в достижение более полного понимания происходящих в морской среде процессов Лаборатория морской среды МАГАТЭ (ЛМС) в 1996 г. приступила к осуществлению пятилетнего проекта "Глобальное исследование морской радиоактивности (МАРС)". Проект финансируется Агентством по науке и технике (АНТ) Японии. В данной статье приводятся краткий обзор этого проекта и описание связанных с ним научно-исследовательских работ ЛМС и ее глобальных партнеров.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИНИЦИАТИВЫ

МАРС имеет целью получение новых данных о современном состоянии радиоактивности в открытом океане и достижение лучшего понимания существующего распределения радионуклидов. Тем самым могут сопоставляться подборки данных из национальных и международных

исследований радиоактивности. Проект служит вкладом в повышение научных знаний о процессах, влияющих на распределение радионуклидов, и об источниках поступления радиоактивности в открытый океан.

Организованное в 1996 г. в Монако совещание экспертов способствовало выработке руководящих принципов осуществления проекта. Эксперты рекомендовали провести исследования в северной части Тихого и в Атлантическом океане с дополнительным взятием проб в Индийском океане. Далее они высказались за приоритетность работы в северной части Тихого океана в связи с недостаточностью новых данных из этого района и рекомендовали предпринять усилия по размещению пробоотборных станций в местах наличия исторических данных хорошего качества и полноты. В их число входят, например, места, которые были задействованы в программе ГЕОСЕКС (Геохимическое исследование участков океана) в середине 70-х гг., или где проведение последовательных измерений помогло бы установить связи для экстраполяции результатов относительно данных ранее осуществленных исследований Мирового океана.

Г-н Повинек — руководитель Радиометрической лаборатории; г-н Тогава — эксперт этой лаборатории, входящей в структуру Лаборатории морской среды МАГАТЭ в Монако.

В конкретные задачи проекта входит:

- исследование современного распределения ключевых радионуклидов (третия, углерод-14, стронций-90, цезий-137 и изотопов плутония) в воде, донных отложениях и биоте мировых океанов;
- экстраполяция результатов, полученных из ранее проведенных глобальных исследований Мирового океана, таких как изотопный компонент ЭИЦМО (гидрографической программы "Эксперимент по изучению циркуляции Мирового океана"), где имеются большие подборки данных по третию, которые могут использоваться для прогнозирования концентраций стронция-90 и цезия-137, в тех же районах;
- изучение временной динамики концентраций радионуклидов в воде путем сопоставления исторических данных хорошего качества и подборок новых данных, собранных в последнее время;
- выявление крупных источников антропогенных радионуклидов в мировых океанах;
- введение всех наличных данных по распределению радионуклидов в воде, донных отложениях и биоте в Глобальную базу данных по радиоактивности морской среды, чтобы иметь возможность изучать временные и пространственные вариации в распределении ключевых радионуклидов.

Программа координированных исследований (ПКИ). Программа "Глобальное исследование морской радиоактивности" начала осуществляться в 1998 г. для поддержки исследовательских работ по проекту. В ней принимают участие эксперты из Германии, Дании, Индии, Италии, Республики Корея, Соединенных Штатов и Японии. Их деятельность будет способствовать

достижению лучшего понимания распределения радионуклидов в толще воды и донных отложениях Мирового океана и прогнозированию радиологических последствий. В рамках ПКИ, получающей внебюджетное финансирование от Японии, будут поощряться и поддерживаться исследования морской радиоактивности в государствах-членах путем оказания методологической помощи и управления процессом обеспечения качества анализов. Все данные по концентрации радионуклидов в воде, донных отложениях и биоте, полученные в ходе осуществления ПКИ, государства — члены МАГАТЭ смогут получать в электронном формате как на дисках CD-ROM, так и через Интернет.

НАУЧНЫЕ ЭКСПЕДИЦИИ

Проект МАРС получает дополнительную поддержку благодаря проведению ряда научных экспедиций в открытом океане.

Тихоокеанская экспедиция

1997 г. МАГАТЭ была организована ЛМС в сотрудничестве с девятью организациями из пяти государств — членов Агентства (см. вставку на стр. 13). Впервые океанографическая экспедиция в открытый океан была полностью организована и проведена МАГАТЭ.

Экспедиция проводилась в северо-западной части Тихого океана с 21 октября по 20 ноября 1997 г. Ее основная цель состояла во взятии проб воды на различных глубинах, образцов кернов донных отложений и биоты, а также в проведении океанографических измерений (солености, температуры и т. д.). Анализ собранных проб и океанографических измерений во время плавания даст возможность исследовать

распределение антропогенных и природных радионуклидов в морской среде. Проведенная в ходе экспедиции работа поможет также в изучении изотопных сигналов, которые, возможно, вызваны явлением "Эль-Ниньо". Кроме того, исследования позволят выявить возможные широтные закономерности в распределении природных радионуклидов в морской среде, планктоне и рыбной фауне.

Для проведения экспедиции использовалось исследовательское судно "Босей Мару", принадлежащее Токайскому университету. Маршрут плавания имел форму треугольника: от Симидзу (Япония) на восток к Милуоки Си-Маунтин, затем на юг к Маршалловым островам с заходом в Понпеи (Федеративные Штаты Микронезии) и назад к Симидзу. Отбор проб проводился на 20 станциях, включая четыре станции, задействованные в программе ГЕОСЕКС, и семь станций вблизи атоллов Бикини и Эневеток.

Пробы морской воды отбирались на различных глубинах и разных станциях с помощью батометров для больших объемов воды, герметических насосов и системы ПТГ (проводимость, температура и глубина) с розеточными многобутылочными батометрами (ПТГ/РМБ). Отбор проб отложений и биоты проводился с использованием, соответственно, ящичного грунтоотборника и рыболовных удилищ/сетей. В ходе экспедиции проводились также измерения по ПТГ и общей химии. Всего было взято, соответственно, 5 и 12 наборов проб больших и малых объемов воды, 15 кернов образцов отложений, 45 образцов рыбной фауны трех разных видов, а также пробы планктона.

На борту была произведена предварительная химическая



Справа: отбор проб морской воды с борта японского судна "Босей Мару" во время Тихоокеанской экспедиции 1997 г. МАГАТЭ, в которой приняли участие ученые из пяти стран и девяти организаций: Федерального морского и гидрографического агентства (Германия); Института океанических исследований и разработок (Республика Корея); Лаборатории физических исследований (Индия); Линчёпингского университета (Швеция); и пяти японских организаций: Японского исследовательского института по атомной энергии — Центра Муцу, Японского центра химического анализа, Японского фонда морских исследований — Морской лаборатории Муцу, Исследовательского института метеорологии и Токайского университета. Всего состав экспедиции насчитывал 22 участника, включая шестерых сотрудников МАГАТЭ из ЛМС. Некоторые из участников — на верхнем фото вместе с членами команды судна. (Фото: MEL)



концентрация нескольких отобранных радионуклидов (стронция-90, цезия-137, плутония-239, 240 и америция-241), что позволило уменьшить объем проб воды почти в 20 раз. Это

дало возможность осуществить наземную перевозку проб из Симидзу в Монако и в лаборатории участвующих государств-членов для дальнейшего анализа.

Концентрации трития, углерода-14, технеция-99, йода-129 и плутония (ИНП-РИ) будут определяться в пробах морской воды, отобранных с помощью системы ПТГ/РМБ. С другой

стороны, измерения проб донных отложений и биоты будут производиться не только для этих антропогенных, но и для природных радионуклидов (полония-210, радия-226, тория-230, урана-234 и урана-238).

Вскоре после экспедиции ЛМС представила доклад, в котором содержатся предварительные результаты измерений по ПТГ и общей химии. Полные анализы отобранных проб проводятся специалистами в ЛМС, участвующих организациях и других лабораториях государств — членов МАГАТЭ (Канады, Германии, Индии, Японии, Новой Зеландии и Соединенных Штатов). Окончательные результаты всей аналитической работы планируются опубликовать в 1999 г.

Совместные японо-корейско-российские экспедиции. В рамках соглашения между правительствами Японии, Республики Корея и Российской Федерации ЛМС была приглашена принять участие в совместных экспедициях в места прошлых сбросов радиоактивных отходов в северо-западной части Тихого океана и прилегающих морях. Цель экспедиций — исследование радиологического загрязнения морской среды в результате прошлых сбросов радиоактивных отходов бывшим СССР, Российской Федерацией, Республикой Корея и Японией.

Для экспедиции, проходившей в два этапа, использовалось российское исследовательское судно "Океан", которое с 22 марта по 11 апреля 1994 г. посетило места сброса в Японском/Восточном море, а с 15 августа по 15 сентября 1995 г. — в Охотском море, северо-западной части Тихого океана и вновь в Японском/Восточном море.

Пробы морской воды из поверхностных и глубинных слоев и донных отложений

отбирались на 14 станциях в районах, где суммарная мощность сброса радиоактивных отходов составила свыше 700 ТБк, а также еще на шести станциях за пределами этих районов. В двух районах, где сбрасывались более крупные партии радиоактивных отходов, брались также пробы из промежуточных слоев воды на нескольких глубинах. Кроме того, пробоотбор производился на двух станциях в районе вблизи острова Сахалин в Охотском море, где произошла аварийная потеря источника стронция-90 мощностью 13 ПБк.

Сотрудники ЛМС проводили в отобранных пробах измерения содержания трития, углерода-14, стронция-90, йода-129, цезия-137, плутония-238, плутония-239, 240 и америция-241. Полученные результаты показали, что концентрации трития, стронция-90, цезия-137, плутония-238 и плутония-239, 240 в морской воде и донных отложениях в местах сброса были низкими и не отличались в значительной степени от концентраций фоновой радиации, установленных в соответствующих районах. Уровни концентраций хорошо согласуются также с теми, которые наблюдаются повсеместно в северо-западной части Тихого океана и прилегающих морях.

Суммарная радиоактивность стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240, которая была исчислена по вертикальным профилям в морской воде и донных отложениях, превышала совокупную концентрацию глобальных выпадений, осевших в морской среде. Однако оценки суммарной радиоактивности соответствовали данным предыдущих наблюдений в этих районах. Результаты установления соотношений между суммарной радиоактивностью радионуклидов и изотопной активностью

подтвердили вывод о преобладающем влиянии глобальных выпадений в районах пробоотбора.

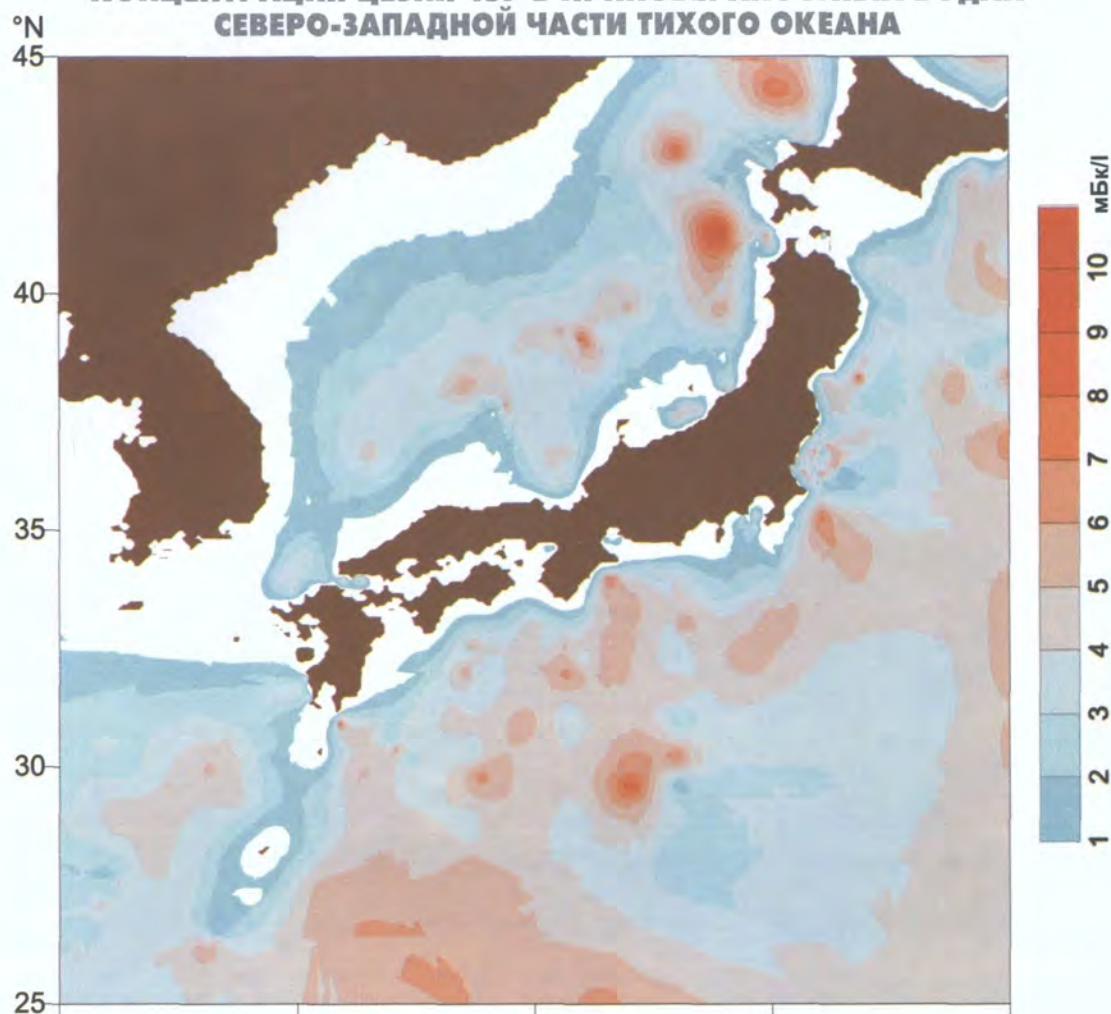
Экспедиции в Индийском океане. Сотрудники ЛМС участвовали в двух научных экспедициях в район Индийского океана.

Первая экспедиция проводилась в сотрудничестве с Центром исследований морской среды Национального агентства по новым технологиям, энергии и окружающей среде (ЭНЭА), Специя, Италия. Целью экспедиции было изучение распределения антропогенных радионуклидов в поверхностных слоях морской воды в Индийском океане. Экспедиция проходила с 8 марта по 9 апреля 1998 г. на борту итальянского исследовательского судна "Италика" на его обратном пути в Италию из Антарктики.

Пробы морской воды отбирались на 41 пробоотборной станции, примерно через каждые пять градусов долготы. Маршрут проходил от Литлтона на юго-востоке Новой Зеландии до Равенны в Италии, через пролив Кука, Тасманово море, пролив Басса, Большой Австралийский залив, Индийский океан, Аденский залив, Красное море, Суэцкий канал и Средиземное море. Пробы морской воды отбирались в среднем на глубине 4 м с использованием установленной на судне насосной системы. На борту была произведена предварительная химическая концентрация нескольких отобранных радионуклидов (стронций-90, цезий-137, плутоний-239, 240 и америций-241) с использованием того же метода, который применялся во время Тихоокеанской экспедиции 1997 г. МАГАТЭ.

Дополнительно брались пробы малых объемов морской воды для последующей обработ-

КОНЦЕНТРАЦИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА



15

ки в ЛМС с целью анализа на содержание трития и йода-129, а также для помещения в архив. Анализ этих проб будет проведен в ЛМС и ЭНЭА с опубликованием результатов в 1999 г.

Вторая экспедиция в Индийский океан была предпринята по приглашению Департамента океана и развития (ДОД) Индии. Экспедиция была организована Лабораторией физических исследований (ЛФИ) в Ахмедабаде и проходила с 19 марта по 20 апреля 1998 г. на борту принадлежащего ДОД исследовательского судна "Сагар Сампада". Ее главной целью было определение концентраций и распределения (горизонтально-

го и вертикального) антропогенных радионуклидов в воде и донных отложениях.

Пробоотбор проводился на шести станциях, включая пять станций ГЕОСЕКС. На каждой станции пробы морской воды отбирались на шести разных уровнях с использованием системы ППТ/РМБ. Несколько отобранных радионуклидов (стронций-90, цезий-137, плутоний-239, 240 и америций-241) были подвергнуты предварительному концентрированию на борту. Дополнительные пробы морской воды были отобраны для определения в ЛМС содержания трития, технеция-99, йода-129 и плутония (ИНП-РИ), а

также для помещения в архив. На ряде станций были отобраны керны донных отложений и пробы планктона.

Анализы всех отобранных проб будут проводиться в ЛМС и ЛФИ с опубликованием результатов в 1999 г. Дальнейшие экспедиции по отбору проб в Атлантический океан и южную часть Индийского океана запланированы на 1998 и 1999 гг.

Карта: специалисты МАГАТЭ в области изучения моря, работающие в ЛМС в Монако, участвовали в научных экспедициях, которые дали ценную информацию об уровнях радиоактивности в мировых океанах. (Фото: MEL)

БАЗА ДАННЫХ ПО РАДИОАКТИВНОСТИ МОРСКОЙ СРЕДЫ

В рамках исследовательского проекта в ЛМС была разработана Глобальная база данных по радиоактивности морской среды (ГЛОМАРД) для предоставления государствам-членам данных о концентрациях радионуклидов в морской среде. Эта информация поможет им в проведении радиологических оценок, связанных со сбросом радиоактивных отходов и ядерными испытаниями, и в случае чрезвычайного реагирования на аварийную радиологическую ситуацию в море. В ближайшем будущем планируется сделать ГЛОМАРД доступной через узел МАГАТЭ в Интернете.

В базе данных содержится примерно 40 мегабайтов данных, представляющих массив в 100 тыс. измерений радиоактивности в пробах морской воды, донных отложений, биоты и взвесей, взятых в мировых океанах.

В ней также содержится информация об источниках данных, о лабораториях, выполняющих радионуклидный анализ, о виде проб (морская вода, отложения, биота) и соответствующих деталях (таких как объем и вес), обработке проб, аналитических методах и измерительных приборах и результатах анализов (таких как концентрации радионуклидов, неопределенности, температура, соленость и т. д.).

Данная версия ГЛОМАРД позволяет осуществлять ввод, хранение и извлечение данных для составления различных типов карт с использованием внешних компьютерных программ. С помощью этих программ на основе обработки извлеченных данных составляются контурные карты о распределении радионуклидов в исследованных районах.

Новая версия ГЛОМАРД будет связана с Географической информационной системой. Это позволит составлять более точные двух- и трехмерные карты, где данные по радиоактивности будут коррелироваться с данными по батиметрии, температуре или солености. Появится также возможность составлять карты, отражающие динамику загрязнений во времени.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ

Подборки данных ГЛОМАРД и ее картографические возможности были использованы для исследования распределения радионуклидов в поверхностных слоях морской воды и верхних слоях отложений в северо-западной части Тихого океана (см. карту). Были взяты данные японских организаций, в основном Японского центра химического анализа. Оценка производилась по вертикальным профилям концентраций и суммарной радиоактивности радионуклидов, а также соотношениям их изотопной активности как в толще морской воды, так и в кернах отложений.

В целом концентрации стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240 в морских пробах, взятых вокруг Японии, очень низки и имеют тенденцию снижаться год от года. Профили стронция-90 и цезия-137 в толще морской воды свидетельствуют о постепенном снижении концентраций с увеличением глубины, в отличие от концентраций плутония-239, 240. Профили плутония показывают, что подповерхностный максимум концентраций наблюдается на глубине около 700 м; в этом отражается специфика процессов очистки в водной толще.

Концентрации радионуклидов в кернах донных отложений имеют тенденцию к уменьше-

нию с увеличением глубины. Суммарная радиоактивность стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240 в морской воде и отложениях оценивалась по нескольким периодам, начиная с 80-х гг. до настоящего времени. Соотношения изотопной активности в кернах отложений сильно отличаются от таких соотношений в толще морской воды, что отражает разницу, образующуюся в процессе перехода радионуклидов из морской воды в донные отложения.

Показатели суммарной радиоактивности стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240 в толще воды в месте сброса отходов в Японском/Восточном море составляют, соответственно, 3,0; 5,8 и 0,10 кБк/м². Для сравнения: соответствующие показатели суммарной радиоактивности в толще воды в северо-западной части Тихого океана составляют 1,0; 2,0 и 0,11 кБк/м². Как видно из этих цифр, показатели суммарной радиоактивности стронция-90 и цезия-137 в воде на участке сброса в Японском/Восточном море значительно превышают те, которые наблюдаются в северо-западной части Тихого океана.

Совокупная суммарная радиоактивность стронция-90 и цезия-137 в воде и отложениях хорошо согласуется с ожидаемой плотностью осаждения глобальных выпадений. С другой стороны, в совокупной суммарной радиоактивности плутония-239, 240 и америция-241 в северо-западной части Тихого океана наблюдается превышение по сравнению с плотностью осаждения выпадений, возможно, из-за добавления от выпавших вблизи радиоактивных осадков, перенесенных из центральной части Тихого океана.

В результате обследований в Японском/Восточном море и

северо-западной части Тихого океана не обнаружено убедительных доказательств влияния сброса радиоактивных отходов. Однако были выявлены уникальные океанографические характеристики в поведении радионуклидов.

Производилась оценка коллективных эффективных дозовых эквивалентов (КЭДЭ), полученных населением Японии от жидких радиоактивных отходов, сброшенных в Японское/Восточное море, через морские пищевые продукты. Общее количество жидких отходов, сброшенных в районе Владивостока, составляет 443 ТБк.

В расчетных целях было принято, что в жидких отходах отношение содержания кобальта-60, стронция-90 и цезия-134 к цезию-137 составляет, соответственно, 0,01; 0,3 и 0,01. Дозы из-за содержания долгоживущих радионуклидов достигают максимальных значений через 4—5 лет после сброса.

Суммарный КЭДЭ от всех радионуклидов имел максимальное значение в 1990 г., равное 0,8 чел.-Зв. Около 90% дозы исходит от цезия-137, главным образом благодаря потреблению рыбы. Ожидаемый коллективный эффективный дозовый эквивалент оценивается в 11 чел.-Зв. на протяжении жизни.

Для сравнения с дозами от жидких радиоактивных отходов производились также оценки доз от глобальных выпадений (стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240) и от природного радионуклида (полония-210). КЭДЭ оценивался, исходя из годового потребления добытых в 1990 г. морских продуктов.

Преобладает коллективная доза в 17 тыс. чел.-Зв. от полония-210 (для сравнения: 16 чел.-Зв. от стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240).



Суммарный КЭДЭ от жидких радиоактивных отходов составляет около 5% его величины от глобальных выпадений.

ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Для более полной оценки радиоактивности в морской среде требуются дальнейшие исследования. Исследовательская и аналитическая работа в ЛМС сосредоточится на изучении источников, ответственных за внесение радионуклидов в мировые моря и океаны; распределения антропогенных и природных радионуклидов в морской среде; и вкладов антропогенных и природных радионуклидов в дозы, которые мировое население получает от морской радиоактивности через потребление морских продуктов. Эти исследования помогут получить более ясное представление о соответствующих

вкладах от различных источников радиоактивности, а их результаты лягут в основу принятия решений в различных областях.

В октябре 1998 г. в Монако состоится важный форум — Международный симпозиум по загрязнению морей, организуемый МАГАТЭ совместно с рядом других организаций (см. информацию о целях и темах симпозиума на стр. 4 и 5). Ведущие национальные и международные ученые и специалисты в этой области рассмотрят широкий круг вопросов, чтобы помочь установить приоритеты на предстоящие годы. □

Океанологи устанавливают ящичный пробоотборник для взятия проб донных отложений.
(Фото: MEL)