

Сообщение из Монако: Обращение с отходами и море

Исследования и разработки по охране окружающей среды, проводимые в Международной лаборатории МАГАТЭ по изучению радиоактивности моря в Монако

Р. Фукаи

На долю морей и океанов приходится примерно 70 % поверхности Земли, и их охрана считается жизненно важной проблемой для существования человечества. В то же время всем известно, что океаны являются настоящей „свалкой” многих антропогенных продуктов, включая искусственные радионуклиды, которые непосредственно хранятся на земле и выбрасываются в атмосферу.

При решении вопроса о практике захоронения отходов в море большое значение приобретает информация о комплексном поведении и пути радионуклидов в морской среде для прогнозирования и оценки их радиологического воздействия на население. Ввиду того, что большая часть морей представляет собой международную территорию, особую важность приобретает международное сотрудничество.

Методы контроля окружающей среды

Основным условием осуществления любой научной программы является наличие соответствующих методов проведения необходимых измерений с целью выполнения поставленной задачи. Оно особенно важно для осуществления контроля за некоторыми долгоживущими радионуклидами в окружающей среде. Например, чрезвычайная важность контроля за изотопами плутония при захоронении отходов в море с точки зрения защиты окружающей среды не могла быть оценена должным образом до разработки альфа-спектрометрического метода, позволяющего проводить измерения изотопов плутония в пробах окружающей среды.

Трудно прогнозировать поведение многих радионуклидов в морской среде на основании результатов лабораторных экспериментов, так как процессы, управляющие их поведением, слишком сложны для воссоздания в лабораторных условиях. Поэтому лучшим методом для решения этого вопроса является проведение измерений в пробах окружающей среды и построение разумных моделей на основе

этих результатов. В связи с тем, что концентрации искусственных радионуклидов в пробах обычно низки (за исключением нескольких отдельных районов), возникает необходимость в создании достаточно чувствительных методов.

Уже более десяти лет Лаборатория в Монако занимается разработкой аналитических методов измерения в образцах проб окружающей среды небольших количеств трансурановых и других долгоживущих радионуклидов. Так в конце 70-х годов Лаборатория создала метод для измерения низкого уровня активности америция-241 в морской воде, морских отложениях и биологических материалах. Этот метод был проверен на различных образцах проб, взятых из разных районов Тихого океана, Средиземного, Балтийского и арктических морей. Результаты измерений позволили Лаборатории сделать выводы о специфическом поведении этого изотопа в различных морских регионах земного шара.

В настоящее время Лаборатория относится к числу немногих исследовательских учреждений, имеющих возможность проводить надежные измерения низкой активности америция-241 в образцах проб окружающей среды. На основе этой работы был создан метод расчета содержания плутония-241, который оказался полезным для определения источников изотопов плутония в определенных районах морской акватории.

В последние годы Лаборатория занимается методами измерений низких уровней активности для других долгоживущих радионуклидов, включая технеций-99 (распад в 2,1 раза за 10^5 лет) и нептуний-237 (распад в 2,14 раза за 10^6 лет). Хотя эти радионуклиды находились в морской среде начиная с 50-х годов, ранее их присутствие и поведение не привлекали к себе внимания, так как не существовало методов их измерения в окружающей среде.

В случае с технецием-99 метод измерения был применен на различных пробах, из различных регионов морей. Результаты измерений показали, что этот изотоп имеет особенность накапливаться в бурых морских водорослях, а также помогли проследить радиоактивный выброс в Селлафилде, Великобритания, до побережья Норвегии или Гренландии,

Г-н Фукаи — руководитель Международной лаборатории МАГАТЭ по изучению радиоактивности моря, Музей океанографии, Княжество Монако.



Подготовка на борту судна к спуску на дно моря ловушки для сбора отложений.

т.е. на расстоянии более чем 5000 км от места образования выброса.

Лаборатория также разработала последовательный метод измерения природных радионуклидов, в особенности изотопов радия. Результаты имеют значение для понимания геохимических процессов растворения и образования частиц.

Планы на будущее предусматривают создание методов измерений для таких долгоживущих радиоизотопов, как никель-63 (период полураспада 100 лет), который образуется при операциях снятия с эксплуатации ядерных установок, и йод-129 (распад в 1,51 раза за 10^7 лет), который образуется при переработке топлива.

Обеспечение точности измерений

Начиная с 1968 г., Лаборатория в Монако в сотрудничестве с Лабораторией Агентства в Зайберсдорфе, Австрия, разрабатывает программу по обеспечению качества результатов измерений образцов проб окружающей среды, получаемых в национальных лабораториях государств-членов. В связи с тем, что подавляющая часть морей представляет собой международную территорию, обеспечение качества измерений образцов проб окружающей среды имеет не только большое научное, но и политическое значение.

Программа охватывает два аспекта: 1) организация, оценка и сообщение о взаимных калибровках

и 2) выпуск эталонных материалов. На практике оба эти аспекта тесно взаимосвязаны:готавливаются в больших количествах однородные образцы проб морской среды с концентрациями неизвестных радионуклидов и распределяются по лабораториям, которые хотят принять участие в проведении взаимных калибровок. Затем результаты измерений разных лабораторий по отдельным радионуклидам оцениваются методами статистического анализа и рассчитываются наиболее вероятные концентрации для каждого радионуклида. Полученные результаты считаются наилучшими расчетными данными истинных концентраций радионуклида в пробе. Остающиеся количества пробы затем могут рассматриваться в качестве эталонного материала, для которого известны наиболее вероятные концентрации нескольких радионуклидов.

С момента возникновения этой программы, представляющей собой прямой вклад Лаборатории в работу специализированных учреждений государств-членов, было подготовлено примерно 20 эталонных материалов, матрицы которых включают морскую воду, морские донные отложения и морские биологические образцы. В список включены вероятные концентрации плутония-238, плутония-239 и плутония-240, америция-241, а также кобальта-60, стронция-90, цезия-137 и других природных радионуклидов.

Передача технологии и обучение

Другой областью участия Лаборатории в работе специализированных учреждений является обучение ученых из развивающихся стран проведению измерений радионуклидов и экспериментов с мечеными атомами. Начиная с 1981 г., Лаборатория совместно с Отделом технической помощи и сотрудничества Агентства установила стипендии, чтобы специалисты из государств-членов, включая Грецию, Венгрию, Филиппины, Португалию, Испанию и Турцию, могли пройти курс обучения, в среднем по два человека в год. (Период обучения обычно составляет один год.) Ученые осваивают новые для них методы в процессе совместной работы по определенным темам с сотрудниками Лаборатории. Часто специалисты Лаборатории совершают инспекционные визиты в институты, где работают обучавшиеся в Лаборатории ученые, чтобы убедиться, что разработанные ими методы находят эффективное применение.

Оценка влияния окружающей среды

В Лаборатории проводятся важные исследования по изучению „вертикальных транспортных потоков” для того, чтобы понять поведение и распределение определенных радионуклидов на различных уровнях водного разреза океана. Основной целью таких исследований является количественная оценка направленных вниз вертикальных потоков радионукли-

дов и других антропогенных загрязнителей, оседающих на дно вместе с биогенными частицами (фекальные массы, продукты линьки птиц, трупы животных и т.д.) из верхних слоев моря. Для определения вертикальных потоков анализируются материалы, собранные в ловушках, расположенных на различных глубинах в море. Выброс радионуклидов, оседающих на падающие вниз биогенные частицы, может быть рассчитан путем соотношения результатов измерений в материалах, находящихся в ловушках, с результатами измерений биогенных частиц вблизи источников выбросов на поверхности воды.

Результаты исследований показывают, что падающие вертикально вниз биогенные частицы содержат радионуклиды с высоким уровнем активности, и поэтому их вертикальное падение считается средством переноса различных радионуклидов и других загрязнителей из поверхностных слоев океана в его глубинные слои*.

Биокинетика и перенос по пищевым цепочкам

Лаборатория приобрела большой опыт работы по использованию методов меченых атомов для измерения захвата и потери радионуклидов различными видами морских организмов (включая фитопланктон, зоопланктон, ракообразные и моллюски). Недавно проводились исследования по биокинетике и передаче по пищевым цепочкам долгоживущих трансурановых и других нуклидов. В качестве радиоактивных меченых атомов использовались технеций-95 m, нептуний-235, плутоний-237, америций-241, кюрий-244 и калифорний-252.

Результаты исследований имеют важное значение для расчетов коэффициентов концентрации трансурановых и других радионуклидов в различных морских организмах, а также для понимания биокинетики этих элементов в передаче по специфическим пищевым цепочкам. В частности, коэффициенты концентрации радионуклидов в различных морских организмах существенны для оценки радиологического воздействия на человека выбросов радионуклидов в море. Принимая во внимание эти факторы, Отдел ядерного топливного цикла МАГАТЭ с группой консультантов предпринял попытку сбора данных о существующих коэффициентах концентрации. Лаборатория участвовала в этой работе, передавая имеющиеся в ее распоряжении данные о коэффициентах концентраций.

Помимо экспериментальных исследований с использованием искусственных радионуклидов проводилось изучение распределения и переноса по пищевым цепочкам природных радионуклидов, особенно очень высоких концентраций полония-210, обнару-

женных в тканях некоторых морских организмов. Полученные данные могут быть использованы для сравнения дозы излучения от естественных источников с дозой, полученной от выброса искусственных радионуклидов в морскую среду.

Сравнительные исследования

Путем сравнения результатов измерений радионуклидов в различных матрицах, собранных из различных регионов, стало возможным сделать выводы о специфическом поведении определенных радионуклидов, выбросы которых имели место в различных морских акваториях. Исследования проводились в тесном сотрудничестве с национальными организациями Канады, Дании, Федеративной Республики Германии, Финляндии, Франции и Швеции в северной части Атлантического океана, в районе Арктики, Балтийского, Северного и Средиземного морей.

Проводился интенсивный сбор из различных мест образцов морской воды, отложений осадочных пород и морских организмов с измерениями, проведенными по стронцию-90, технецию-99, цезию-134, цезию-137, плутонию-238, плутонию-239 и плутонию-240, америцию-241 и т.д.

Результаты позволили сделать некоторые интересные выводы. Например, при одинаковом количестве плутония-239 и плутония-240 в Средиземном и Балтийском морях оказалось, что концентрации в поверхностных слоях Средиземного моря примерно в пять раз выше по сравнению с Балтийским морем. Примерно 60–80 % плутония в Средиземном море все еще остаются в водном столбе, в то время как в Балтийском море 99 % плутония опустилось в виде отложений на дно. Эта разница может быть объяснена различием средних глубин двух морей. (Исследования также показали, что технеций-99 является прекрасным индикатором переноса радионуклидов в воде).

Радионуклиды в отложениях

Многие радионуклиды, попавшие в морскую среду, становятся связанными с терригенными и биогенными частицами. Ввиду того, что эти частицы под действием гравитации опускаются на дно, радионуклиды также опускаются вниз и, в конечном итоге, оказываются на дне моря. Если бы они оставались там без движения, это было бы идеальным решением для удаления отходов с этими изотопами. Однако, в зависимости от различных факторов (например, химических характеристик радионуклидов, характера отложений, водных течений, флоры и фауны морского дна) радионуклиды могут вовлекаться в геохимические и биогеохимические процессы, происходящие в отложениях и граничном слое вода/морское дно. Отсюда формулируется задача исследований — рассматривать и изучать эти процессы на системной основе.

Проводилось изучение геохимического разделения различных радионуклидов на донных отложениях

* При осуществлении этой программы Лаборатория приняла участие, направляя своих экспертов, в ряде национальных программ (таких, как VERTEX в США и ECOMARGE во Франции). Это расширило возможности для применения методов исследований, разработанных в Лаборатории, в различных акваториях Тихого океана и Средиземного моря.

различного типа, и благодаря серии лабораторных экспериментов были определены коэффициенты переноса отложения — животное. Начались отдельные исследования по изучению влияния биотурбации на распределение некоторых природных радионуклидов в морских отложениях и на химическое видообразование радионуклидов металлов кобальта-60 и никеля-63 в промежуточном слое. В связи со сложной природой происходящих процессов считается, что полученные результаты лабораторных экспериментов имеют очень ограниченное отношение к реальным процессам. Непрерывное руководство и правильная ориентация исследовательских проектов в этой области имеют чрезвычайно важное значение для проведения соответствующей работы.

Количество радионуклидов в морской воде

В настоящее время развернута работа по сбору и оценке информации о количестве радионуклидов, поступающих в морскую среду. Делаются расчеты входных и выходных потоков радионуклидов в морскую среду и из нее, и определяется инвентарное количество радионуклидов на основе измерений образцов проб окружающей среды. Последующие исследования должны определить соответствие данных об инвентарном количестве расчетным данным о потоках и выявить расхождения.*

На основе рекомендаций группы консультантов в первую очередь будут изучаться такие радионуклиды, как углерод-14, цезий-134, 135 и 137; радионуклиды серии распада урана-238, в том числе полоний-210, свинец-210 и радий-226, а также изотопы плутония.

Координационная исследовательская программа

На период с 1986 по 1988 гг. Лаборатория планирует проведение координационной исследовательской программы (КИП) по методам и стратегии контроля выбросов радионуклидов в прибрежную морскую среду. Особое внимание будет уделено биоиндикаторам. В ней примут участие несколько институтов из развивающихся стран. С помощью механизма КИП будут получены, собраны и опубликованы** необхо-

* Работа проводится на основе рекомендаций Научного Совета Лаборатории, данных в марте 1984 г. В июле 1985 г. она обсуждалась на заседании группы консультантов, которые пришли к выводу, что в целом осуществление такой работы полезно для МАГАТЭ и научной общности, и рекомендовали ее к рассмотрению на Научном Комитете ООН по действию атомной радиации (НКДАР).

** Другие координационные исследовательские программы, организованные Лабораторией: „Поведение трансурановых элементов в морской среде” (1978–81 гг.) и „Поведение долгоживущих радионуклидов, связанное с захоронением радиоактивных отходов на большие глубины морей” (1981–84 гг.). Лаборатория также принимала участие в двух координационных исследовательских программах, проводимых другими отделами МАГАТЭ: „Исследования радиоактивных материалов в Балтийском море” и „Роль донных отложений в транспортировке и аккумуляции радионуклидов в морских течениях”.



Сбор морских водорослей на побережье у города Туле, Гренландия.

димые научные данные по оценке влияния на окружающую среду выбросов радионуклидов в море.

Международное сотрудничество в других областях

Помимо выполнения научных работ, непосредственно связанных с программой Агентства по обращению с отходами, Лаборатория осуществляет сотрудничество с другими международными организациями в области исследований по контролю загрязнения морской среды. Это Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), Программа ООН в области окружающей среды (ЮНЕП), Международная океанографическая комиссия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (МОК/ЮНЕСКО).

В частности, Лаборатория направила научных и технических экспертов для Программы ЮНЕП по исследованиям океана и прибрежных районов. Лаборатория обеспечивает разработку, испытания и публикацию справочных пособий и стандартных справочных материалов измерения загрязнения окружающей среды, оказывает помощь в проведении измерений загрязнения, организует работу по вопросам взаимной калибровки и обучение научного персонала. Исследования проводятся в районах Средиземного моря, у побережья Кувейта и в Западной, Центральной и Восточной Африке. Опыт по оказанию такой помощи был приобретен Лабораторией при проведении аналогичных работ по изучению радиоактивности морей.

Лаборатория в Монако

В связи с возложенной на МАГАТЭ ответственностью за разработку планов и рекомендаций в области обращения с отходами для защиты окружающей среды с целью создания приемлемых в международном масштабе методов, Агентство основало в 1961 г. Международную лабораторию по изучению радиоактивности моря в Монако на базе трехстороннего соглашения с правительством Монако и Океанографическим институтом в Монако. Впоследствии это соглашение несколько раз пролонгировалось, что обеспечило Лаборатории выполнение разработанной программы. В ближайшем будущем предполагается заключить новое соглашение между МАГАТЭ и правительством Монако, которое обеспечит еще более надежную основу для сотрудничества.

Научные программы Лаборатории регулярно обсуждаются на заседаниях группы высококвалифицированных экспертов, работающих в области исследования радиоактивности моря. В соответствии с их рекомендациями вносятся изменения в программы. Последнее заседание группы экспертов было проведено в марте 1984 г.

Лаборатория продолжает концентрировать свои усилия на темах, непосредственно связанных с аспектами радиационной защиты обращения с радиоактивными отходами в морской среде. Разделы научной программы объединенные с общей программой Агентства по обращению с отходами, включают деятельность по оказанию технической помощи в области контроля и исследований радиоактивности моря,

а также работу по сбору данных для оценки влияния выбросов радионуклидов на окружающую морскую среду.

Международная лаборатория МАГАТЭ по изучению радиоактивности моря размещается в Музее океанографии, Монако.

