

ДИНАМИКА ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

ПРОЕКТЫ МАГАТЭ ПОМОГАЮТ ОЦЕНИТЬ СОСТОЯНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ

ИОЛАНДА ОСВАТ, МАСУД САМИЭЙ,
Л. ВАЛКУНАС И ЙОЗЕФ ЗЛАТНАНСКИ

Охрана окружающей среды — это область, которая занимает все более важное место в различных программах МАГАТЭ, в особенности в Европейском регионе. Многие страны этого региона страдают от серьезного ухудшения качества среды. В программе МАГАТЭ для Европы около 15% проектов технического сотрудничества посвящено проблемам окружающей среды.

На основании просьб государств-членов МАГАТЭ принимает участие в крупных проектах, связанных с оценкой состояния наземной, воздушной и морской сред, а также в деятельности, направленной на восстановление и улучшение природной среды в различных частях Европы. Цели этих программ:

- наращивание потенциала;
- оценка возможного загрязнения радионуклидами, связанного с чернобыльской аварией, как наиболее важного вида загрязнения, а также оценка риска, связанного с другими ядерными установками;
- укрепление координации действий с международными природоохранными проектами (а также участие в них).

Регион Балтийского моря не является исключением и уже несколько лет находится в сфере внимания МАГАТЭ. Это происходит одновременно с повышением информированности и ростом обеспокоенности балтийских стран в связи с экологическим состоянием Балтийского моря, ставшим в по-

следние 30 лет одной из основных проблем.

Балтийское море, акватория которого почти полностью окружена сушей и дренирует примерно пятую часть Европы через множество рек, является крупнейшим в мире водоемом со слабоминерализованной (слабосоленой) водой. Затрудненный водообмен с Северным морем через мелкие и узкие Датские проливы приводит к увеличению времени пребывания вод в Балтийском море до 25–40 лет. Формирующиеся при этом условия благоприятны для накопления загрязняющих веществ.

Зимой большая часть Балтийского моря покрыта льдом, что еще более замедляет и без того слабую ветровую циркуляцию вод и снижает возможности рассеяния загрязнителей. Специфические гидрографические условия, связанные с ограниченной водообменом с остальной частью Мирового океана, в сочетании со значительным притоком пресных вод благоприятствуют существованию обедненных кислородом придонных вод, которые неспособны поддерживать морскую жизнь. В проти-

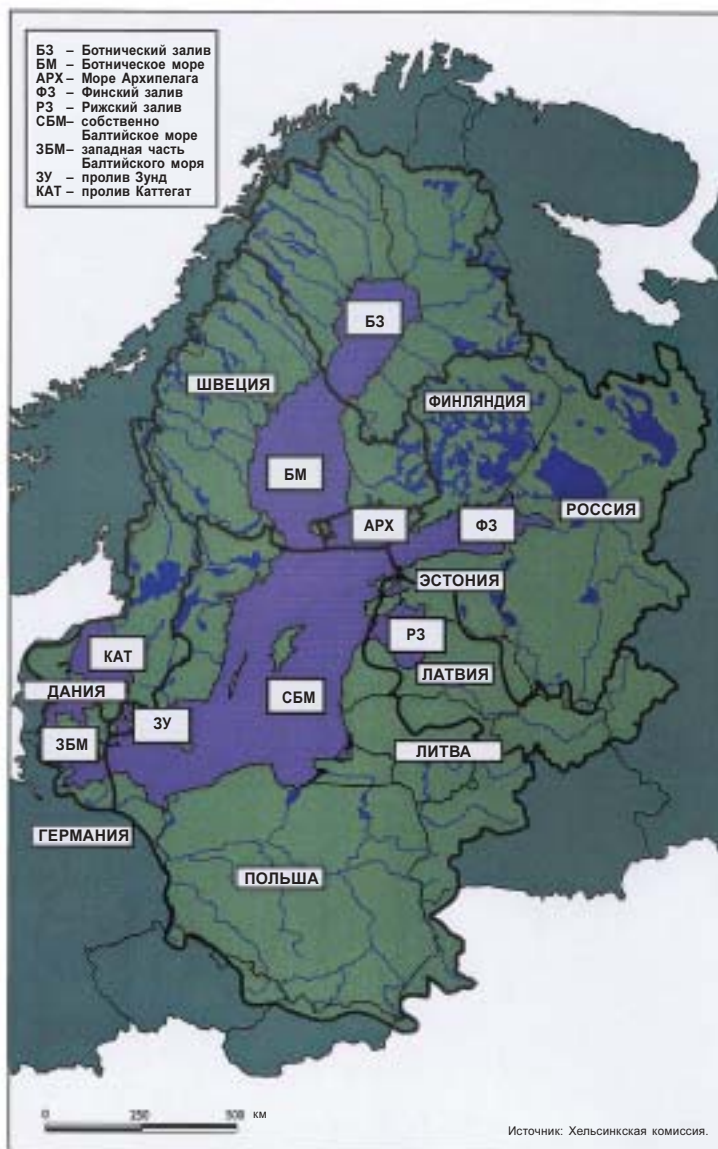
воположность мелководной части моря, в которой происходит постоянное, хотя и медленное, обновление вод, в наиболее глубоких частях Балтийского моря обновление воды происходит лишь периодически, с переменной частотой, определяемой сложными метеорологическими процессами. В XX в. значительные объемы вод из Северного моря поступали в Балтийское море раз приблизительно в 11 лет, однако в последние десятилетия в данной периодичности наблюдаются колебания. В промежутках между этими поступлениями в придонных слоях Балтийского моря могут формироваться бескислородные условия, приводящие к образованию сероводорода, токсичного для живых организмов. Таким образом могут формироваться лишённые любых бентических или высших форм жизни зоны “мертвого дна”, занимающие до трети общей площади морского дна.

На фоне такой естественной уязвимости антропогенное воздействие привело к дальнейшему изменению и ухудшению окружающей среды. Более 16 млн. человек проживают

Г-жа Осват — сотрудница Лаборатории морской среды МАГАТЭ в Монако; г-н Самизэй — руководитель Секции Европы Отдела Европы, Латинской Америки и Западной Азии Департамента технического сотрудничества; г-н Златнански — сотрудник этой Секции; г-н Валкунас — директор Института физики в Вильнюсе, Литва. Выражение признательности: часть информации, использованной в этой статье, взята из публикаций Хельсинкской комиссии, в частности из Конвенции по защите морской среды района Балтийского моря, Программы совместных комплексных природоохранных действий в Балтийском море, Сводного отчета о загрязнении Балтийского моря и доклада о радиоактивности в Балтийском море в 1984–1991 гг. (BSEP 61, 1995).

БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ И ЕГО БАССЕЙН

Балтийское море представляет собой полузамкнутое море площадью 415 тыс. кв. км и максимальной глубиной 460 м. Водосборный бассейн моря охватывает более 1,7 млн. кв. км и доставляет в море в среднем 480 куб. км пресной воды в год. Почти половину этого стока обеспечивают семь крупнейших рек: Нева, Висла, Даугава, Неман, Кемийоки, Одер и Гёта-Эльв.



непосредственно на побережье, а около 80 млн. – в пределах водосборного бассейна моря. Береговая линия разделена между девятью странами: Германией, Данией, Латвией, Литвой, Польшей, Россией, Финлян-

дией, Швецией и Эстонией. С учетом водосборного бассейна список стран расширяется, включая части Беларуси, Норвегии, Словацкой Республики, Украины и Чешской Республики. Сброс промышленных и

сельскохозяйственных отходов, а также недостаточно очищенных или вовсе не очищенных коммунальных сточных вод во впадающие в море реки или непосредственно в море привел к серьезному ухудшению экологической ситуации во многих частях Балтийского моря.

Загрязнение моря при судоходстве и в результате аварий на судах, деятельность, связанная с рыболовством и рыбоводством, а также, что более существенно, загрязнения, переносимые через атмосферу, вносят свой вклад в нарушение экологического равновесия. Наибольшую обеспокоенность вызывают вредные или токсичные стойкие вещества (например, ПХБ, ДДТ, ПАГ, полихлорированные соединения, пестициды, ртуть), питательные вещества (соединения фосфора и азота, ведущие к эвтрофикации), тяжелые металлы, радионуклиды и углеводороды.

Виды и количества загрязнителей, достигающих Балтийского моря, а также площадь пораженных территорий меняются во времени. В начале 90-х гг. ученые установили, что загрязнение моря начинает угрожать его биологическим ресурсам и в конечном счете здоровью и благополучию населения, зависящего от этих ресурсов.

РЕГИОНАЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

На основе решений Конференции ООН 1972 г. по проблемам окружающей человека среды правительства государств, расположенных на побережье Балтийского моря, в 1974 г. подписали Конвенцию по защите морской среды района Балтийского моря, известную как Хельсинкская конвенция и вступившую в силу в 1980 г. Деятельность в рамках этого соглашения направляется Хельсинкской комиссией – Комиссией по охране морской природной сре-

ды Балтийского моря (ХЕЛКОМ). В число участников Конвенции входят девять стран, выходящих на побережье, и Европейское сообщество.

Декларация по Балтийскому морю, ставящая в качестве долгосрочной цели обеспечение экологического возрождения Балтийского моря и поддержание в нем экологического равновесия, была принята на уровне премьер-министров на Конференции по охране среды Балтийского моря в Роннебю (Швеция) в 1990 г. Два года спустя Дипломатическая конференция по охране морской среды в зоне Балтийского моря приняла Декларацию по охране среды Балтийского моря. Она поддержала стратегический подход и принципы Программы совместных комплексных природоохранных действий в Балтийском море.

Многие международные организации, включая МАГАТЭ, а также финансовые институты были в 1992 г. приглашены принять участие в качестве наблюдателей в этой важнейшей Дипломатической конференции. Там же была подписана новая Хельсинкская конвенция, которая вступила в силу в начале 2000 г. после ратификации всеми договаривающимися сторонами. Действие Конвенции было расширено за счет распространения ее положений на внутренние воды договаривающихся сторон и включения таких понятий, как принцип предосторожности, оптимальная природоохранная деятельность и наилучшая имеющаяся технология. В ней выражается твердое намерение договаривающихся сторон обеспечить экологическое возрождение Балтийского моря. В Конвенции признается, что задачи охраны и улучшения морской среды Балтийского моря не могут быть эффективно решены уси-

лиями отдельных стран – для их решения требуется тесное сотрудничество на региональном уровне.

Конвенция создает основу для принятия законодательных, административных и других соответствующих мер в целях борьбы с существующим загрязнением и предотвращения загрязнения в будущем, имея в виду восстановление и укрепление экологического баланса района Балтийского моря. Для решения этих вопросов в Программе действий определяются проблемы и приоритетные шаги во всех странах бассейна Балтийского моря. Программа охватывает как превентивные меры, призванные обеспечить устойчивое использование среды Балтийского моря, так и восстановительные действия для борьбы с существующей деградацией природной среды, вызванной загрязнением от точечных и рассредоточенных источников. Стратегия основана на разработке соответствующих природоохранных стратегий и законодательных мер, осуществлении реформ в управлении, внедрении экономических стимулов для поощрения экологически безопасных технологий, развитии институционального потенциала и людских ресурсов, а также расширении возможностей финансирования природоохранных мероприятий на местах. Программа предусматривает поддержку прикладных исследований, распространения экологической информации и экологического просвещения.

Важную роль в региональном сотрудничестве играют экологический мониторинг и оценка воздействия на окружающую среду. Эти виды деятельности обеспечивают ХЕЛКОМ надежными данными, позволяющими Комиссии разрабатывать природоохранную политику и оценивать эффективность мер,

направленных на уменьшение загрязнения. На начальном этапе была развернута обширная программа мониторинга и оценки. ХЕЛКОМ периодически публикует всеобъемлющие отчеты о сборе данных, характеризующих состояние среды Балтийского моря и нагрузку, связанную с загрязнением. Завершена работа над отчетом “4-й цикл периодической оценки состояния среды Балтийского моря, 1994–1998 гг.”, который вскоре будет опубликован.

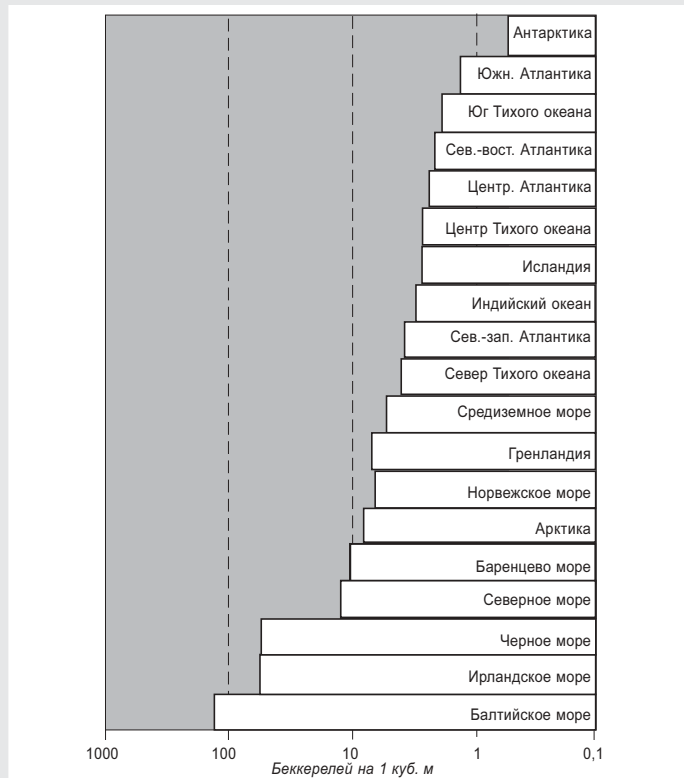
В пресс-релизе в марте 2001 г. ХЕЛКОМ сообщила о последних результатах этих исследований. Как показали исследования, предпринимаемые странами Балтийского моря действия для защиты морской среды ведутся в правильном направлении, однако необходима продолжение и интенсификация деятельности, при этом особое внимание следует уделять устойчивому экономическому росту.

ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Основными источниками антропогенных радионуклидов в Балтийском море служат глобальные выпадения в связи с испытаниями ядерного оружия, выбросы с перерабатывающих предприятий в Селлафилде (Соединенное Королевство) и на мысе Аг (Франция), а также выпадения, связанные с аварией на Чернобыльской АЭС в 1986 г.

В сравнении с этими источниками вклад девяти АЭС, а также исследовательских центров, больниц и других объектов в бассейне моря чрезвычайно мал. Бывшие отвалы на побережье в Силламяе (Эстония), которые использовались для захоронения отходов обогащения полезных ископаемых, содержащих уран и торий, а поз-

**СРЕДНЯЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ЦЕЗИЯ-137
В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА
(ЛОГАРИФИЧЕСКАЯ ШКАЛА, 1990 г.)**



Источник: Оценочные данные из Программы координированных исследований МАГАТЭ "Источники радиоактивности в морской среде и их относительные вклады в общие дозы радиоактивности моря – MARDOS". Результаты опубликованы в IAEA-TECDOC-838 (1995 г.).

же были расширены и превращены в полигон для захоронения отходов, по современным оценкам, оказывают пренебрежимо малое радиационное воздействие. В число других относительно незначительных или потенциальных источников выбросов входят упомянутый в отчетах осуществлявшийся ранее в незначительных масштабах сброс отходов в Швеции (IAEA-TECDOC-1105, 1999 г.) и бывшем Советском Союзе (Отчет Яблокова, 1993 г.), а также санкционированный сброс жидких отходов из ликвидируемой учебной базы ВМФ бывшего СССР в Палдиски (Эстония).

Самым значительным источником загрязнения Балтийского моря антропогенными радионуклидами безусловно стала

чернобыльская авария 1986 г. Наибольший вклад в это загрязнение внесли цезий-137 и цезий-134, для которых существуют сравнительно простые методы измерения и обнаружения, поскольку надежно установлено их начальное изотопное соотношение в выпадениях от чернобыльской аварии (около 2:1). В результате аварии общее содержание цезия-137 в воде возросло с 325 ТБк в 1985 г. до 4300–5000 ТБк в 1986 г.

В первые дни и месяцы после загрязнения в морской среде были обнаружены другие короткоживущие радионуклиды. Однако присутствие этих радионуклидов, равно как стронция-90 или долгоживущих изотопов плутония, не счита-

лось существенным для морской среды либо из-за их быстрого распада, либо в связи с весьма незначительным повышением их концентраций.

Распределение цезия-137 по поверхности Балтийского моря было неравномерным. Это объясняется непосредственным осаждением выпадений при перемещении радиоактивного облака над поверхностью моря в первые дни после чернобыльской аварии, а также выносом загрязненных территорий речным стоком. В мае – июне 1986 г. концентрация цезия-137 в воде колебалась в пределах двух порядков – от уровня ниже 50 Бк на 1 куб. м на юге до более чем 5 тыс. Бк на 1 куб. м в Финском заливе.

Обследования, проведенные в 1989 и 1994 гг., показали, что максимальные концентрации по-прежнему сохраняются в поверхностных слоях. Однако значительная часть загрязнения проникла в более глубокие слои, а существенная доля перешла в донные отложения. Установлено, что в Ботническом заливе и северной части собственно Балтийского моря концентрации особенно высоки, хотя через 8 лет после аварии уровень опустился ниже 140 Бк на 1 куб. м. Несмотря на то что загрязнения такого масштаба не приводят к возникновению радиологических проблем, в относительном выражении Балтийское море остается морской средой с максимальным в мире уровнем загрязнения цезием-137 (см. диаграмму).

Измерение и оценка уровня радиоактивности в Балтийском море вызвали интерес стран региона и явились предметом многих национальных и международных исследовательских программ. Еще в 1980 г. МАГАТЭ инициировало Программу координированных ис-

следований (ПКИ) “Изучение радиоактивных материалов в Балтийском море”. Целью этой программы было изучение долговременной динамики радионуклидов, попадающих в Балтийское море, в том числе их перенос в организм человека. Исследования проводились в 1981–1984 гг. с участием ученых из всех стран, прилегающих к Балтийскому морю, а также сотрудников Лаборатории морской среды МАГАТЭ в Монако (в то время известной под названием “Международная лаборатория морской радиоактивности”). Исследования в рамках ПКИ дали ценную информацию об уровнях концентраций и о поведении антропогенных радионуклидов в Балтийском море, а также позволили получить важную точку отсчета накануне чернобыльской аварии.

В 1985 г. ХЕЛКОМ приняла решение продолжить работу, начатую МАГАТЭ, и сформировала Группу экспертов по мониторингу радиоактивных веществ в Балтийском море (МРВ). МАГАТЭ продолжало участвовать в этой работе, проводя интенсивную программу обеспечения качества. МРВ опубликовала исчерпывающие отчеты об уровнях и тенденциях динамики концентраций антропогенных радионуклидов в морской воде, отложениях и биоте. В отчеты включены также перечни радионуклидов, присутствующих в морской воде, и выбросов с атомных установок в пределах бассейна моря, информация о моделировании переноса радионуклидов и оценки радиологических доз, получаемых людьми при облучении радиоактивными веществами, которые находятся в море.

Эти проблемы были более подробно рассмотрены в проекте MARINA BALT, учрежденном Европейской комиссией (1996–



1998 гг.). Этот проект был направлен на оценку радиоактивного облучения населения Европейского сообщества в связи с радиоактивным загрязнением Балтийского моря.

ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО МАГАТЭ

В 1998 г. правительство Литвы обратилось к МАГАТЭ с просьбой оказать поддержку в создании потенциала для оценки радиоактивности в литовской части Балтийского моря. В частности, необходимо было изучить динамику концентраций радионуклидов в морской среде в соотношении с источниками их поступления в море и важнейшими океанографическими процессами, типичны-

ми для этой части Балтийского моря. Конечными целями были оптимизация программы мониторинга и разработка надежных средств прогноза на основе проверенных моделей. Для этого необходимо было спроектировать и реализовать трехмерные гидродинамические модели циркуляции с высокой разрешающей способностью, обоснованные модели дисперсии, а также обоснованные модели для расчета доз.

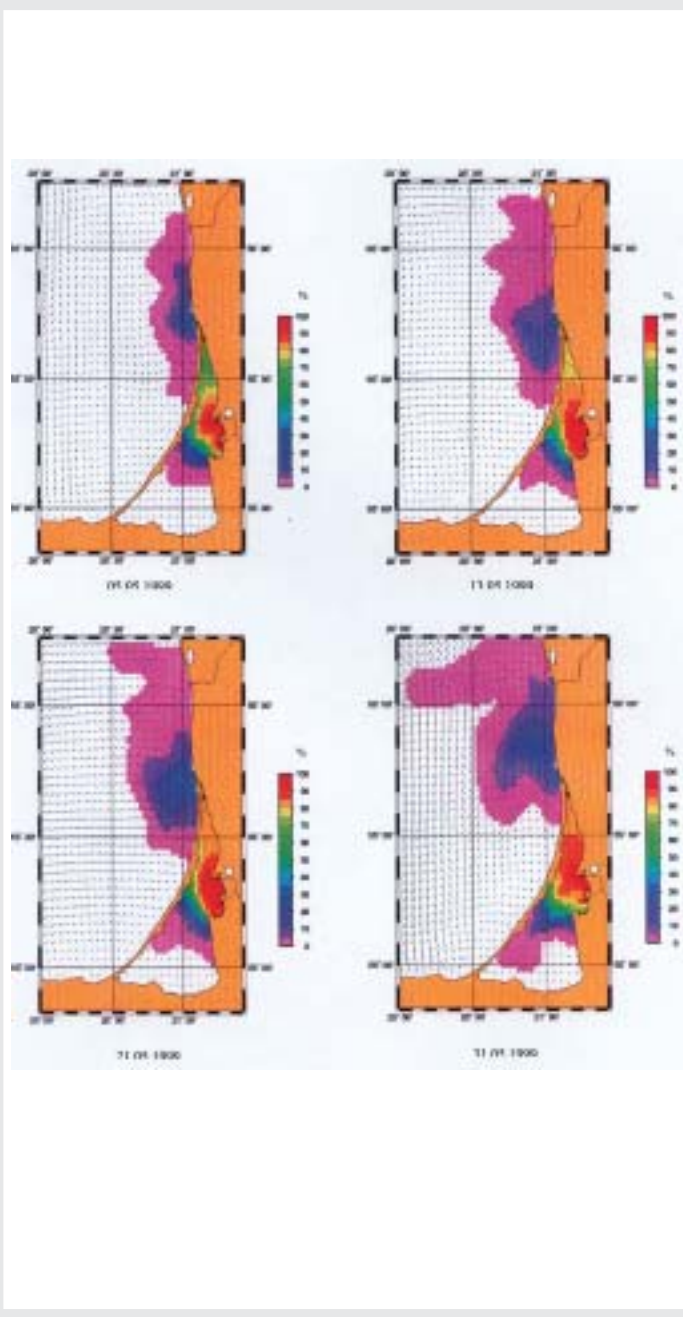
В 1999 г. был разработан проект технического сотрудничества с бюджетом 360 тыс. долл. США. В его цели входила

Фото: Вид на Клайпедский пролив, соединяющий Куршский залив с Балтийским морем.

(Предоставлено: Валкунас/Литва)

ОТСЛЕЖИВАНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ В БАЛТИЙСКОЕ МОРЬЕ

Последовательность схематических изображений иллюстрирует смоделированную динамику концентраций устойчивого индикатора, поступающего непрерывно с постоянной скоростью в устье р. Неман. Результаты представляют особый интерес для изучения трансграничного загрязнения в Балтийском море. Цифровой эксперимент проводился с 1 апреля по 1 июня 1999 г. Снабженные датами “снимки” представляют траекторию распространения индикатора, а также направление и скорость течения. (Предоставлено: Л. Давулиене)



разработка модели, опирающейся на мониторинг территории, для описания рассеивания радионуклидов в литовской части Балтийского моря, в водах впадающей в него реки Неман и в Куршском заливе. Проект получил серьезную поддержку правительства и был объявлен национальным приоритетом с целью получения помощи со стороны МАГАТЭ в рамках программы технического сотрудничества на 2001–2002 гг.

Проект был должным образом скоординирован с другими национальными и международными программами по Балтийскому морю. Работы выполнялись в сотрудничестве с четырьмя литовскими организациями: Институтом физики, Вильнюсским техническим университетом им. Гедиминаса, лабораторией Министерства охраны окружающей среды и Институтом географии. Кроме того, в работе принимали участие сотрудники Центра радиационной защиты Министерства здравоохранения Литвы.

Литовские ученые совместно с МАГАТЭ разработали программу работ по проекту и определили рабочий план. С самого начала работы по проекту для проведения консультаций приезжали специалисты Национальной лаборатории Рисе (Дания) и Федерального морского и гидрографического агентства – ФМГА (Германия). Эти организации, имеющие большой опыт работы по изучению радиоактивности Балтийского моря и участия в программе МРВ, учредили также 8 стипендий для стажировки литовских ученых и организовали научные командировки. Подготовка была направлена главным образом на совершенствование методик анализа радиоактивных веществ и моделирования. Организационным вопросам обеспечения качества в природоох-

ранных приложениях ядерных аналитических методов был посвящен учебный курс МАГАТЭ, проходивший в Центре повышения квалификации по технологии и охране среды в Карлсруэ, Германия. Дополнительная помощь в реализации проекта была оказана путем предоставления оборудования для отбора проб и радиометрии, а также поддержки в организации экспедиций.

На первой стадии проекта проводилось детальное исследование влияния реки Неман на литовскую часть Балтийского моря. Неман, впадающий в Балтийское море через Куршский залив и Клайпедский пролив, является третьей по величине рекой, впадающей в это море (*см. фото*).

Эта река представляет особый интерес для Литвы в контексте оценки трансграничного загрязнения, поскольку верхнее течение реки и почти 60% площади ее бассейна лежат за пределами территории страны. Эта проблема важна также для всех балтийских стран, поскольку 45% площади бассейна реки находятся за пределами зоны ХЕЛКОМ и, следовательно, вне сферы природоохранной политики Комиссии.

В бассейне реки развивались многие отрасли промышленности, приводящие к загрязнению окружающей среды (пищевая, текстильная, кожевенная, нефтеперерабатывающая, химическая, целлюлозно-бумажная), поэтому основные проблемы связаны с сооружениями по очистке сточных вод и сбросом промышленных отходов в городские канализационные системы.

Поскольку река дренирует сток, приходящий из Беларуси, интерес представляет также поступление радионуклидов, выпавших после чернобыльской аварии. В зоне смешения пресных и соленых вод в райо-

не Куршского залива загрязнения, поступающие в Балтийское море, проходят цепь преобразований. Информация о концентрациях радионуклидов в сочетании с данными гидрологических, гидрохимических и геохимических измерений может быть использована для выявления этих процессов, а также для обоснования и проверки адекватности моделей переноса и распространения.

Вместе с литовскими организациями, участвующими в Модельном проекте, были проведены два морских рейда для взятия проб в Куршском заливе, а также несколько полевых экспедиций по прибрежным территориям. Отобранные пробы воды и донных отложений были направлены на лабораторный анализ. Процедуры взятия и обработки проб, а также радиоаналитические методики подвергались контролю и координировались. Для обеспечения совместимости окончательных данных результаты, полученные в разных институтах, сравнивались между собой.

На основе действующей модели циркуляции в масштабе бассейна, разработанной ФМГА, была создана модель с высокой разрешающей способностью (шаг сетки – 1 морская миля) для литовской части Балтийского моря и Куршского залива. Была изучена чувствительность модели, она была протестирована в режиме диагностики с реальными входными данными и проверена на адекватность с использованием результатов измерений за соответствующие периоды времени. Были смоделированы различные сценарии ввода устойчивого индикатора через Неман, при этом изучалось рассеяние индикатора за период в несколько месяцев (*см. рисунки на стр. 14*).

Планы и результаты работ по проекту были представлены на

заседаниях групп МРВ и ВРДМБМ (высокого разрешения действующая модель Балтийского моря). Эти данные также привлекли внимание руководителей Литвы в связи с многочисленными возможностями приложений модели для прогноза распространения загрязнений.

В настоящее время работы продолжают в направлении развития модели циркуляции, расширения изучаемой области за счет включения еще одной крупной впадающей в море реки – Даугавы и учета в модели атмосферных осадков. Вторая стадия проекта МАГАТЭ ориентирована на взаимосвязанные проблемы. В их число входят изучение устья Немана, зоны выноса осадков перед Клайпедским проливом и мелководного Куршского залива, развитие методов для анализа дополнительных радионуклидов, разработка модели дисперсии, моделирование рассеяния цезия-137 и стронция-90, а также оценка доз.

Ожидается, что данный проект будет способствовать комплексной оценке экологического состояния Балтийского моря, поскольку он даст возможность оценивать перенос и рассеяние радионуклидов, а также проводить прогностические модельные расчеты для нормальных и чрезвычайных условий. Кроме того, поддерживая выполняемые в настоящее время национальные и международные программы, этот проект, как ожидается, позволит получить надежную информацию и данные, которые сформируют прочный базис для принятия в Литве природоохранных решений, касающихся Балтийского моря, что будет способствовать повышению качества окружающей среды, улучшению состояния здоровья населения и повышению безопасности в регионе. □