

# Оценка радиационной обстановки: сброс радиоактивных отходов в моря Северного Ледовитого океана

*Краткий отчет о результатах проведенного при поддержке МАГАТЭ исследования радиационного воздействия сброса высокоактивных отходов в моря Северного Ледовитого океана*

Почти пять лет назад, в 1992 г., внимание мировой общественности было приковано к сообщениям о том, что бывший Советский Союз в течение более трех десятилетий сбрасывал радиоактивные отходы в мелководных акваториях арктических морей. Эта новость вызвала повсеместную обеспокоенность, и в первую очередь у прибрежных государств Северного Ледовитого океана.

Действуя на глобальном уровне, МАГАТЭ отреагировало на это сообщение, предложив провести международное исследование в целях оценки последствий таких сбросов для здоровья людей и состояния окружающей среды. Предложение получило поддержку пятнадцатого Консультативного совещания участников Конвенции о предотвращении загрязнения моря сбросами отходов и других материалов (Лондонская конвенция 1972 г.), проведенного под эгидой Международной морской организации (ИМО) в Лондоне. Участники Совещания обратились с просьбой о том, чтобы в ходе исследования были рассмотрены возможные меры по исправлению положения, например путем извлечения отходов и их хранения на суше.

Вскоре после этого, в 1993 г., МАГАТЭ выступило с Международным проектом по оценке состояния морей Северного Ледовитого океана (ИАСАП)\*. Главными целями проекта были: оценка опасности для здоровья людей и состояния окружающей среды, связанной со сбросом радиоактивных отходов в Карском и Баренцевом морях, изучение возможности принятия мер по исправлению положения, а также информация о том, являются ли такие сбросы необходимыми и оправданными. Исследование, над которым работали более 50 экспертов из 14 стран и которое проводилось под руководством Международной консультативной группы, было завершено в конце 1996 г. При частичной финансовой поддержке из внебюджетных средств США проект координировался с Норвежско-российской группой экспертов по исследованию радиоактивного загрязнения северных

районов. В приводимой статье кратко излагаются результаты и выводы ИАСАП, сделанные на основании резюме окончательного доклада по проведенному исследованию.

## Предмет исследования

С помощью скоординированной программы научных исследований, технических контрактов, консультаций и других механизмов в исследовании удалось свести воедино большой объем опыта и знаний в различных областях науки. В принятом подходе основное внимание уделялось следующим конкретным вопросам:

- изучение сложившейся радиационной обстановки в арктических водах с целью оценки свидетельств утечек из сброшенных отходов;
- прогнозирование возможных утечек из сброшенных отходов в будущем, обращая особое внимание на твердые высокоактивные объекты сброса, в которых находится большая часть содержащихся в отходах радионуклидов;
- моделирование перемещения выброшенных нуклидов в окружающей среде и оценка связанного с этим радиационного воздействия на человека и биоту;
- изучение технико-экономической обоснованности, затрат и выгод от осуществления возможных коррективных мер, принимаемых в отношении какого-либо конкретного высокоактивного объекта сброса.

Если судить по информации, содержащейся в "Белой книге Президента России" (Факты и проблемы, связанные со сбросом радиоактивных отходов в моря, прилегающие к территории Российской Федерации, 1993 г.), суммарная активность отходов, затопленных в арктических морях, в момент сброса составляла порядка 90 ПБк ( $90 \times 10^{15}$  Бк). Сброшенные объекты включают шесть ядерных реакторов подлодок, содержащих отработавшее топливо; защитный блок реактора ледокола, содер-

В основе настоящей статьи лежит резюме исследования ИАСАП, которое было подготовлено Консультативной группой по проекту. Г-жа К.-Л. Сьёблом из Секции по безопасности отходов Отдела радиационной безопасности и безопасности отходов МАГАТЭ участвовала в работе в качестве сотрудника проекта.

\* История создания ИАСАП и начало работы в рамках этого проекта излагаются в статье К.-Л. Сьёблом and G.S. Linsley, *IAEA Bulletin*, Vol. 37, No. 2 (1995).

жащий отработавшее топливо; десять ядерных реакторов без топлива; а также твердые и жидкие отходы с низким уровнем радиоактивности. Из этой суммарной оценки 89 ПБк содержалось в отходах с высоким уровнем радиоактивности, куда входят реакторы с отработавшим топливом и без него. Твердые отходы, включая упомянутые выше реакторы, были затоплены в Карском море, главным образом в мелководных заливах Новой Земли, на глубине от 12 до 135 м и в Новоземельской впадине на глубинах до 380 м. Жидкие отходы с низким уровнем радиоактивности были сброшены в открытое море — Баренцево и Карское.

Дополнительная информация в отношении характера отходов была получена из технических контрактов, размещенных в российских учреждениях. Однако имеющаяся информация является далека не полной. Например, не все указанные в документах Российской Федерации сброшенные отходы с высоким уровнем радиоактивности были найдены или однозначно идентифицированы. Более того, ряд информационных материалов, связанных, например, с конструкцией реакторов подлодок или использованным в них топливом, остаются засекреченными. Таким образом, выводы, сделанные в исследовании ИАСАП, являются обоснованными лишь в контексте открытой информации, которая была известна к моменту его завершения.

Результаты исследования ИАСАП будут опубликованы в докладе *Оценка последствий сброса радиоактивных отходов в моря Северного Ледовитого океана — Доклад Международного проекта по оценке состояния морей Северного Ледовитого океана (ИАСАП)*. Кроме того, в виде отдельных документов будут опубликованы доклады, содержащие результаты исследований трех разных рабочих групп: i) описание состояния окружающей среды и радиационной обстановки в морях Северного Ледовитого океана; ii) оценка срока действия источника; и iii) моделирование и оценка дозы излучения. Резюме указанного исследования было представлено сторонам Лондонской конвенции 1972 г., как это было решено на пятнадцатом Консультативном совещании.

### Сложившаяся радиационная обстановка

Сложившаяся радиационная обстановка в морях Северного Ледовитого океана была изучена путем анализа информации, полученной в период проведения серии совместных норвежско-российских плаваний и других международных экспедиций в Карском море. Кроме того, океанографические и радиогеохимические обследования, многие из которых были связаны с исследованием ИАСАП, дали новую информацию о физическом, химическом, радиохимическом и биологическом состоянии арктических морей и происходящих в них процессах\*. Открытая акватория Карского моря является сравнительно малозагрязненной по сравнению с другими морскими районами, и радионук-

лиды попадают туда главным образом с атмосферными осадками и поверхностным стоком после выпадения на сушу радиоактивных продуктов вследствие испытаний ядерного оружия в различных районах мира, а также со сбросами перерабатывающих предприятий в Западной Европе и в результате выпадения радиоактивных осадков после чернобыльской аварии.

Экологические замеры показывают, что индивидуальные ежегодные дозы получаемых объектами окружающей среды искусственных радионуклидов в Карском и Баренцевом морях варьируются в пределах лишь 1—20 микрозивертов. В двух из обследованных заливов, куда были сброшены отходы с высоким и низким уровнями радиоактивности, повышенные уровни содержания радионуклидов были обнаружены в наносах в радиусе нескольких метров от контейнеров с низкоактивными отходами, что указывает на их утечку из контейнеров. Однако это не привело к какому-либо увеличению содержания радионуклидов в районах устьев и открытого Карского моря. Поэтому можно считать, что в настоящее время радиационное воздействие сброшенных отходов является крайне незначительным.

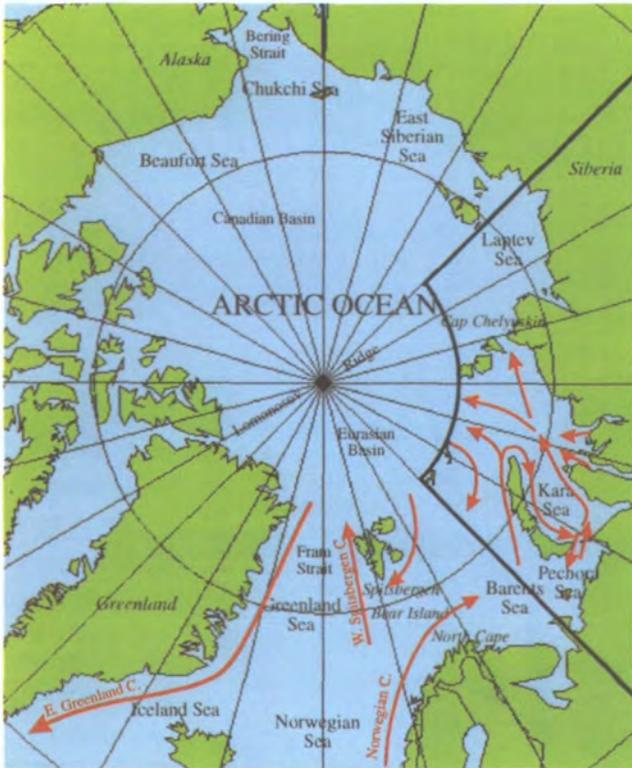
### Радиационная обстановка в будущем

Оценка потенциальной угрозы возможных утечек из сброшенных контейнеров с отходами преимущественно связана с теми из них, которые содержат высокоактивные вещества. Темпы их высвобождения и соответствующие дозы радиоактивного воздействия на человека и биоту были оценочно определены с помощью математических моделей перемещения радионуклидов в окружающей среде.

**Радиоактивность источников и скорость высвобождения радионуклидов.** Весьма подробно изучались характеристики сброшенных реакторов и их работа в ходе эксплуатации. Это делалось с тем, чтобы разработать соответствующие сценарии начала и скорости утечек, которые могут быть использованы в качестве исходных данных для моделирования переноса радионуклидов и интенсивности их воздействия, ведущих к оценке облучения человека и биоты. Эта информация, основанная на изучении характера предыдущей эксплуатации реакторов и рассчитанных нейтронных спектров, дала возможность составить оценки количества продуктов распада, продуктов активации и количества актинидов в сброшенных реакторах и топливных сборках. Был сделан вывод о том, что суммарная радиоактивность высокоактивных отходов на время сброса составляла 37 ПБк. Разница между этой величиной и предварительно полученной оценкой в 89 ПБк, данной в российской «Белой книге», можно объяснить наличием более точной информации относительно фактиче-

\* Дополнительную информацию об экологических исследованиях в Арктике см. P. Povinec, I. Osvath, and M. Baxter, *IAEA Bulletin*, Vol. 37, No. 2 (1995).

Северный  
Ледовитый океан  
и Карское  
и Баренцево моря



На карте справа представлены места захоронения высокоактивных отходов у восточного побережья Новой Земли; слева — основные морские течения, имеющие отношение к радиационной оценке состояния арктических морей. (IAEA-MEL)

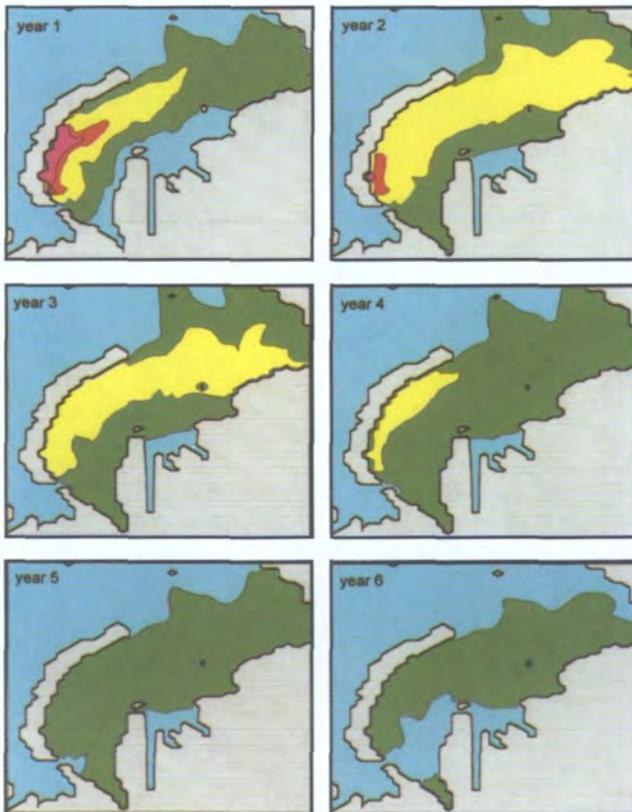


Фото: Океанографы берут пробу воды из арктических морей. (IAEA-MEL) Графики: справа представлены прогнозируемые концентрации цезия-137 в морской воде в первые шесть лет после одновременного высвобождения радиоактивных веществ во всех пунктах сброса. Такие виды прогнозов используются для определения численности населения, которое может подвергнуться облучению. (Ingo Harms/IAEA-MEL)

ской истории эксплуатации реакторов, представленной ИАСАП российскими органами власти. Радиоактивность захороненных в 1994 г. высокоактивных отходов оценивается в 4,7 ПБк, из которых 86% приходится на продукты распада, 12% — продукты активации и 2% — на актиниды. Основными радионуклидами среди них являлись стронций-90, цезий-137, никель-63 и плутоний-241, соответственно.

Темпы поступления радионуклидов в окружающую среду будут зависеть от прочности материалов, из которых изготовлен реактор, мер, принятых перед сбросом, и от самого ядерного топлива. В отношении каждого из сброшенных высокоактивных объектов детально были рассмотрены конструкции и состав защитных сооружений, определены слабые места, а при вычислении темпов утечек использованы максимально высокие оценки уровней коррозии и продолжительности жизни защитных сооружений. Сохранность объектов может также пострадать в результате таких внешних событий, как столкновение с судами или, если говорить в более общем плане, общее похолодание после ледникового размыва. Это может привести к более быстрой утечке радионуклидов в окружающую среду. В целях более точного определения возможного уровня их поступления в окружающую среду были рассмотрены три сценария:

● **наилучший вариант** — утечка происходит в результате постепенной коррозии защитных сооружений, контейнеров с отходами и распада самого топлива;

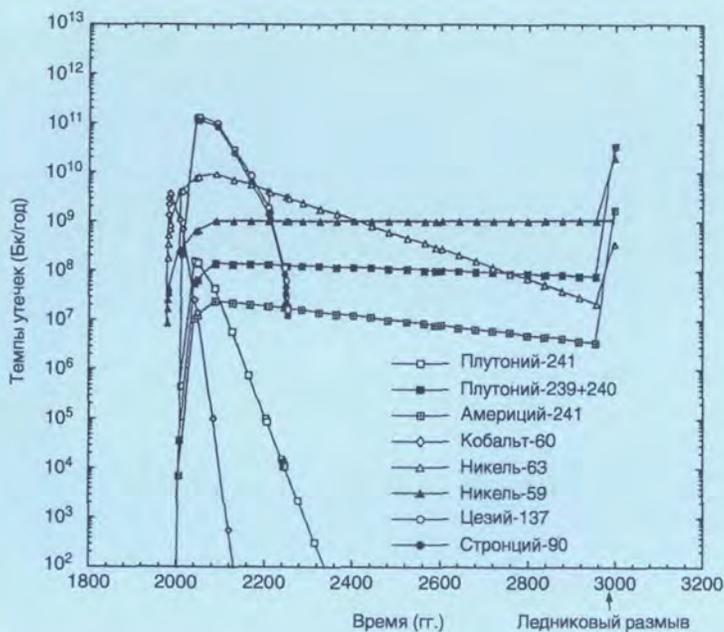
● **наихудший вариант** — обычная постепенная коррозия, которая приведет к серьезнейшему повреждению двух источников в одном месте сброса (например, контейнер с топливом и реакторный блок ледокола) в 2050 г., за чем последует быстрый выброс оставшегося количества радионуклидов из этих источников; и

● **изменение климата** — коррозия вплоть до 3000 г., вслед за чем происходит мгновенный выброс вследствие ледникового размыва учтенного количества радионуклидов, сохранившихся во всех источниках.

Следует отметить тот факт, что не делалось попыток расписать все возможные варианты в отношении событий, которые могут произойти в случае **наихудшего варианта** и изменения климата, а последствия оценивались исходя из того, что эти события произойдут в указанные годы.

В случае **наилучшего варианта** общий уровень выброса из всех источников максимально оценивается в 3000 ГБк/год (ГБк =  $10^9$  Бк) в течение последующих 100 лет, а следующий максимальный уровень через 300 лет после этого составит 2100 ГБк/год. За большую часть оставшегося времени общий уровень выброса будет составлять 2—20 ГБк/год. В случае **наихудшего варианта** максимальный уровень утечки составит 110 000 ГБк/год, вслед за чем он опустится до 100—1000 ГБк/год в течение последующих нескольких сотен лет ввиду ускоренной утечки радионуклидов из контейнера для топлива и реакторного блока атомного ледокола. Сценарий **изменения климата**, при котором ледниковый размыв вызывает немедленную утечку оставшегося учтенного количества всех сбросов, предполагает утечку в объеме порядка 6600 ГБк в течение 1000 лет.

### Примеры прогнозируемых уровней утечек



Даны примеры прогнозируемых уровней утечек, связанных со сценарием изменения климата в применении к одному реактору, захороненному в Новоземельской впадине. Утечка различных радионуклидов может быть вызвана коррозией до 3000 г., когда в результате ледникового размыва, как предполагается, будут уничтожены все препятствия и произойдет утечка всего оставшегося количества радиоактивных веществ. (Neil Lynn, Royal Naval College, UK/Akira Wada, Nihon University, Japan)

### Моделирование и оценка

Вычисленные темпы утечек использовались при разработке математических моделей перемещения радионуклидов в окружающей среде для оценки доз излучения, получаемых людьми и биотой. Были использованы различные методы моделирования, а в осуществлении мероприятий участвовали эксперты из нескольких стран и МАГАТЭ. Были приложены значительные усилия для сведения воедино существующей информации относительно экологии моря, океанографии и седиментологии изучаемого района в качестве основы для разработки моделей.

Были определены конкретные процессы, имеющие специфический характер для того или иного района и потенциально важное значение для составления моделей. Ввиду необходимости представления прогнозов в самых разнообразных пространственных и временных масштабах был разработан целый ряд различных моделей рассеивания радионуклидов в регионе Северного Ледовитого океана и за его пределами.

Были приняты два основных подхода к моделированию: составление отсековых, или боксовых.

**Максимальные годовые индивидуальные дозы для отдельных групп населения  
(в микрозивертах)**

Сценарий	Годовые дозы для потребителей морских продуктов (Группы 1 и 3)	Годовые дозы для военного персонала (Группа 2)
Наилучший сценарий	< 0,1	700
Наихудший сценарий	< 1	4000
Сценарий изменения климата	0,3	3000

**Примечания:**

1 микрозиверт =  $10^{-6}$  Зв.

В перспективе годовые дозы для критических групп — 1 и 3 — естественного происхождения-210 в морепродуктах составляют 500 и 100 микрозивертов, соответственно.

Среднегодовая доза общей фоновой радиации во всем мире составляет 2400 микрозивертов.

моделей и моделей гидродинамической циркуляции. Кроме того, была разработана и применена комбинированная модель (с использованием отсековой структуры, но в высокоразрешающем пространственном масштабе). С помощью моделирования адвективных и диффузивных рассеяний отсековые модели позволяют делать долгосрочные по времени и усредненные с точки зрения пространственных масштабов и дальней зоны прогнозы, а гидродинамические модели дают разрешаемые на местном уровне и краткосрочные по времени результаты.

Отдельно рассматривался один из наименее разработанных в плане количественного переноса путей распространения — через посредство морского и океанского льда. Простой примерный расчет, или моделирование, показал, что из всех рассмотренных здесь источников радиоактивного загрязнения лед способен минимально увеличить дозу переносимых радионуклидов по сравнению с водой.

В целях оценки доз излучения, получаемых людьми, были рассмотрены три группы населения. Расчет был произведен на периоды времени, охватывающие максимальные получаемые отдельными лицами дозы для каждого из трех сценариев, о которых говорилось выше. Таким образом были определены три группы:

**Группа 1.** Группа жителей, населяющих устья рек Обь и Енисей, а также полуострова Таймыр и Ямал, чье существование в значительной степени зависит от потребления выловленной в Карском море рыбы, морских животных, морских птиц и их яиц и которые проводят 250 часов в год на побережье. Их обычаи также типичны для сообществ в других странах, расположенных на побережье Северного Ледовитого океана, рацион питания которых определяется рыболовством.

**Группа 2.** Гипотетическая группа военного персонала, который патрулирует берега содержащих сброшенные радиоактивные материалы заливов в течение предполагаемых периодов в 100 часов в год. Рассматриваемые возможности подверженности действию излучения включают внешнее излучение, а также вдыхание морских брызг, испарений моря и переносимых ветром твердых осадочных частиц.

**Группа 3.** Группа потребителей морепродуктов, которыми считаются жители Кольского полуострова (север России), питающиеся рыбой, моллюсками и ракообразными, добываемыми в Баренцевом море. Потребление морских водорослей и млекопитающих, а также внешнее излучение во внимание не принимались.

### Максимальные годовые индивидуальные дозы облучения для определенных групп населения

Максимальная годовая индивидуальная доза в каждой из критических групп потребителей морской продукции (группы 1 и 3) для всех трех сценариев является низкой и представляется намного меньшей, чем вариации в природных фоновых дозах. (См. табл.) Дозы условно критической группы военного персонала, патрулирующего заливы (группа 2), выше, однако вполне сравнимы с природными фоновыми дозами излучения.

Коллективные дозы оценивались лишь по *наилучшему варианту* сценария утечек. Коллективная доза для населения мира в результате рассеяния радионуклидов в Мировом океане (кроме углерода-14 и йода-129) рассчитывалась на два хронологических периода: i) до 2050 г. в целях предоставления информации относительно коллективной дозы для нынешнего поколения; и ii) на период последующих 1000 лет, который охватывает предполагаемые максимальные выделения.

Ввиду все большей неопределенности в том, что касается прогнозирования будущих событий, процессов и складывающейся ситуации, не было сочтено целесообразным проводить оценку на период более 1000 лет. В указанные два временных периода предполагаемые коллективные дозы составляют 0,01 человеко-Зв и 1 человеко-Зв, соответственно, для каждого периода. Результаты расчетов дают некоторую картину распределения дозы по времени.

Для расчета коллективных доз, получаемых в результате воздействия углерода-14 и йода-129, которые сохраняют радиоактивность в течение длительного времени и циркулируют на глобальном уровне в водной среде, в атмосфере и на

### Основные выводы, сделанные в результате осуществления Международного проекта по оценке состояния арктических морей

- **Результаты мониторинга показали, что утечки из идентифицированных сброшенных объектов незначительны, а их воздействие ограничено непосредственным соседством с местами сброса.** В общем уровне содержания искусственных радионуклидов в Карском и Баренцевом морях являются низкими, а связанные с ними дозы облучения можно вообще не принимать во внимание при сравнении с теми, что получены от естественных источников. Замеры, производимые в окружающей среде, дают основание полагать, что нынешние годовые дозы излучения, получаемые отдельными лицами в результате воздействий всех искусственных радионуклидов в Баренцевом и Карском морях, составляют максимум от 1—20 микрозивертов. Эта доза складывается из воздействия выпадения радиоактивных осадков после испытаний ядерного оружия, выбросов установок по переработке ядерного горючего в Западной Европе и выпадения радиоактивных осадков после аварии в Чернобыле.
- **Предполагаемые дозы, которые может получить обычно проживающее в соответствующих районах местное население в результате захоронения радиоактивных отходов в Карском море, весьма низки и составляют менее 1 микрозиверта.** Предполагаемые дозы облучения, которые могут быть получены гипотетической группой военного персонала, патрулирующего побережье заливов, куда сбрасываются отходы, выше и доходят до 4000 микрозивертов, но тем не менее того же порядка, что и средняя естественная фоновая доза.
- **Дозы облучения морской фауны незначительны — на порядки ниже тех, что могли бы пагубно воздействовать на популяции животного мира.** Кроме того, эти дозы воздействуют лишь на малый процент местной популяции.
- **Радиационная обстановка не требует корректирующих мер.** Однако необходимо сохранять контроль за заселением берегов и использованием прибрежных морских ресурсов материального и нематериального характера в заливах Новой Земли, которые являются местом сброса. Это условие особо оговорено в целях принятия в расчет проблем, связанных с возможным непредумышленным повреждением или извлечением высокоактивных объектов и радиационной защитой гипотетической группы лиц, заселяющих берега залива.

### Рекомендации, данные в Международном проекте по оценке состояния арктических морей

- Необходимо определить местоположение и идентифицировать все высокоактивные сброшенные объекты.
- Необходимо постоянно поддерживать официальный контроль над доступом и деятельностью в земной и морской средах в заливах Новой Земли, где произведены затопления, и в прилегающих районах.
- Если в какой-то момент в будущем будет представлено предложение о прекращении официального контроля над указанными заливами и прилегающими районами, необходимо будет произвести предварительную оценку доз излучения, получаемых любыми новыми группами лиц, которые могут потенциально подвергаться опасности.
- В целях определения любых изменений состояния сброшенных высокоактивных отходов необходимо рассмотреть вопрос об осуществлении программы ограниченного мониторинга окружающей среды в местах сброса.

суше, использовались соответствующие модели глобальной циркуляции. Допустив, что все учтенное количество углерода-14 в отходах, утечка которого произойдет к 2000 г. и составит дозу для населения мира на 1000 лет вперед (т. е. до 3000 г.), получаем коллективную дозу порядка 8 челове-

ко-Зв. Соответствующие цифры для йода-129 значительно ниже и составляют 0,0001 человеко-Зв. Таким образом, общая коллективная доза за последующие 1000 лет воздействия на население мира радионуклидов из сброшенных в море радиоактивных отходов составит порядка 10 человеко-Зв. И напротив, ежегодная коллективная доза, получаемая населением мира от встречаемого в природе и попадающего в воду океанов полония-210, составляет, по оценкам других исследований, величину на три порядка выше. Также поучительно сравнить коллективную дозу, получаемую в связи с воздействием сброшенных в Карское море отходов, с коллективной дозой, получаемой в результате излучения низкоактивных радиоактивных отходов, затопленных в северо-восточной части Атлантического океана. В последнем случае коллективная доза, получаемая населением мира, составляет 1 человеко-Зв в течение 50 лет и 3000 человеко-Зв в течение последующих 1000 лет.

Были подсчитаны мощности доз облучения целого ряда популяций живых организмов — от зоопланктона до китов, — оказавшиеся очень низкими. Максимальные показатели, прогнозируемые в ходе проведения настоящей оценки, составляли около 0,1 миллигрея в час, а такая мощность дозы, как считается, едва ли будет иметь отрицательные последствия в том, что касается заболеваемости, смертности, фертильности, плодородия и коэффициента мутации, которые могут повлиять на сохранение здоровых популяций. Следует также отметить, что утечки могут повлиять лишь на небольшой процент популяции биоты местных экосистем.

## Варианты исправления положения

**Технико-экономические условия и затраты.** В предварительном технико-экономическом обосновании и исследовании затрат были рассмотрены пять вариантов исправления положения для контейнера с использованным топливом, снятым с атомного ледокола. Этот источник был выбран потому, что из всех захороненных объектов он содержит самое большое количество радионуклидов и в отношении него имеется наибольшее количество документации, касающейся его конструкции и средств изоляции излучения.

Первоначально были отобраны пять конкретных вариантов для их дальнейшего рассмотрения:

**Вариант 1.** Введение путем инжектирования определенных материалов для замедления коррозии и создания дополнительного средства изоляции.

**Вариант 2.** Накрытие на месте колпаком из бетона или другого подходящего материала в целях инкапсулирования объекта.

**Вариант 3.** Извлечение на сушу.

**Вариант 4.** Захоронение в подземной каверне на побережье Новой Земли.

**Вариант 5.** Извлечение и подводная транспортировка для захоронения на большой океанской глубине. В ходе последующего рассмотрения этих вариантов эксперты-спасатели отвергли варианты 1, 4 и 5. Вариант 1 — на тех основаниях, что контейнер с отработавшим горючим был предварительно заполнен специальным полимером, фуруролом (F), что может затруднить закачку нового материала. Вариант 4 был исключен, поскольку создание подземной пещеры для единственного извлеченного источника излучения обошлось бы слишком дорого и вряд ли оправдало бы себя в более широком плане. От варианта 5 пришлось отказаться, поскольку, во-первых, сомнительно, чтобы в соответствии с Лондонской конвенцией 1972 г. можно было получить специальное разрешение на проведение этой операции, которая была бы связана с перезахоронением высокоактивного объекта в океане, и, во-вторых, подводная транспортировка в океанских условиях связана с ненужным риском потерять контейнер во время перемещения его к новому месту захоронения.

Поэтому дальнейшее рассмотрение вариантов свелось к двум оставшимся, т. е. накрытие объекта колпаком на месте или же его извлечение для обработки либо захоронения на суше. Оба варианта представлялись технически осуществимыми. Стоимость операций на море была оценена в 6—10 млн. долл. США. Следует, правда, учесть, что в случае извлечения потребуются крупные дополнительные затраты помимо рассмотренных на последующую транспортировку по суше, обработку, хранение и/или захоронение. Рассматривался также вопрос о радиационном облучении персонала, занятого в этих мероприятиях, а также возможность серьезной аварии. Был сделан вывод о том, что при принятии надлежащих мер предосторожности и проведении инженерного обследова-

ния опасность облучения персонала, занятого в осуществлении этих мероприятий, была бы незначительной.

**Соображения радиационной защиты в целях обоснования мероприятий по исправлению положения.** Основными концепциями радиационной защиты, связанными с настоящим проектом, являются те, что были рекомендованы Международной комиссией по радиологической защите и включены в *Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (ОНБ) МАГАТЭ* и других международных организаций. В этих документах определены два вида ситуаций, при которых человек может подвергнуться воздействию излучения: в случае, когда меры защиты могут быть запланированы заранее, до начала действия источников излучения, и в случае, когда источники излучения уже имеются в наличии и меры по защите необходимо разрабатывать задним числом. Они, соответственно, характеризуются как принятая практика и чрезвычайные меры.

Ситуация, рассматриваемая в исследовании ИАСАП, подпадает под категорию чрезвычайных мер. Действия в этом случае в принципе могут быть направлены на источник или, после утечки радионуклидов, на пути их перемещения в окружающей среде, через которые человек может получить дозу облучения. Чрезвычайные меры в месте расположения источника могут включать, например, установление дополнительных защитных средств для предотвращения утечки радионуклидов из отходов. Применительно к пути перемещения излучения в окружающей среде такие меры могут быть связаны с ограничением потребления загрязненных продуктов питания и/или с ограничением доступа к зараженным районам. В любом случае необходимо, чтобы применение мер по борьбе с загрязнением окружающей среды было обосновано тем, что чрезвычайные меры приносят больше пользы, чем вреда, т. е. их положительное воздействие, включая снижение радиационного ущерба, перевешивает соответствующие отрицательные моменты, включая понесенные затраты и ущерб людям, занятым борьбой с загрязнением окружающей среды. Кроме того, форму и масштабы любых чрезвычайных мер можно свести к оптимальному уровню, с тем чтобы добиться максимальных положительных результатов.

Существует ряд факторов, которые требуют рассмотрения при принятии решения относительно исправления положения. С точки зрения перспективы радиационной защиты наиболее важными из них являются:

- дозы и опасность облучения в отношении наиболее уязвимых лиц (критическая группа) в случае непринятия определенных мер, а также степень улучшения их положения в случае принятия таких мер; и
- общее воздействие на здоровье уязвимого населения, а также степень уменьшения такого воздействия в случае принятия соответствующих мер.

Общее воздействие на здоровье находится в прямой зависимости от коллективной дозы, т. е. общей суммы индивидуальных доз облучения, полученных населением.

Сброшенные в Карском море и прилегающих заливах высокоактивные отходы помещены в отдельные контейнеры, и в будущем, предположительно, из них начнется утечка. В результате этого налицо хроническая ситуация потенциального излучения, при которой обеспокоенность вызывает будущее увеличение доз облучения, получаемых отдельными лицами в результате утечки радионуклидов из сброшенных отходов. В зависимости от физического состояния этих источников чрезвычайные меры (меры по исправлению положения) в месте расположения источников являются наиболее разумным шагом по сравнению с принятием таких мер в отдаленном будущем. Предварительным условием здесь является как их обоснованность, так и оптимальность воздействия.

В настоящее время не существует международных критериев претворения в жизнь требования о нейтрализации хронического воздействия радиации, за исключением природного радиоактивного газа радона, когда в международных рекомендациях предложено предпринимать действия при ежегодном приросте дозы облучения в размере от 3 до 10 миллизивертов (3000—10 000 микрозивертов). Международная комиссия по радиологической защите и МАГАТЭ разрабатывают основные принципы для применения в других ситуациях, когда возникает необходимость в чрезвычайных мерах.

В соответствии с прогнозами утечка из источников радиоактивных отходов в Баренцевом и Карском морях приведет в будущем к ежегодному приросту дозы облучения для лиц, проживающих на их побережье, в размере менее 1 микрозиверта. По оценкам, возможность заболеть раком с летальным исходом в результате получения дозы в 1 микрозиверт составляет приблизительно  $5 \times 10^{-8}$  — величина, которой можно пренебречь. Поэтому сброшенные отходы не будут представлять сколько-нибудь значительной опасности для местного населения. Прогнозируемые возможные дозы облучения представителей гипотетической группы военного персонала, патрулирующего побережье заливов Новой Земли, выше, чем для других жителей, и сравнимы с дозами облучения, получаемыми от источников природной фоновой радиации. (Средняя годовая доза облучения, получаемая от источников природной фоновой радиации, включая облучение радоном, составляет 2400 микрозивертов.) Учитывая, что дозы облучения, получаемые этой гипотетической группой, можно, при необходимости, контролировать, ничто в том, что касается рассчитанных индивидуальных доз облучения, не указывает на необходимость коррективных действий.

Если опасность для каждого человека можно считать и не заслуживающей внимания, то для

всего населения результатом получения дополнительной дозы предположительно может явиться ухудшение состояния здоровья людей. Считается, что такое воздействие на здоровье пропорционально коллективной дозе облучения, полученной от сброшенных радиоактивных отходов. Коллективная доза для населения мира в результате воздействия сброшенных в Баренцево и Карское моря радиоактивных отходов в течение последующих 1000 лет составит порядка 10 человеко-Зв. Эта рассчитанная коллективная доза мала, однако должна, тем не менее, учитываться при принятии дальнейшего решения относительно необходимости коррективных действий. Упрощенный масштабный подход к рассмотрению коллективной дозы в рамках принятия решений состоит в том, чтобы дать денежное выражение тому ущербу для здоровья людей, которого можно избежать в случае осуществления коррективных действий. Если при осуществлении этого масштабного подхода коррективные действия представляются обоснованными, будет оправдано проведение детального анализа, в ходе которого более тщательно изучению подвергнутся компоненты коллективной дозы. Используя подобный масштабный подход, можно показать, что коррективные меры применительно к крупнейшему единичному источнику излучения (контейнеру с отработавшим горючим с атомного ледокола), осуществление которых будет стоить более 200 тыс. долл. США, не представляются возможными с экономической точки зрения. Поскольку осуществление любого из предлагаемых коррективных мероприятий будет стоить не менее нескольких миллионов долларов США, очевидно, что, принимая во внимание расчеты коллективной дозы облучения, проведение коррективных мероприятий не представляется оправданным.

В целом с точки зрения радиологической защиты, включая учет доз облучения биоты, коррективные действия в том, что касается сброшенных радиоактивных материалов, не представляются оправданными. Однако в целях избежания случайного повреждения или извлечения сброшенных объектов и ввиду того, что потенциальные дозы облучения гипотетической группы военного персонала, патрулирующего заливы Новой Земли, где эти объекты затоплены, не являются незначительными, настоящее заключение находится в зависимости от поддержания некоей формы официального контроля за доступом к этим заливам и деятельностью в них.

И наконец, отмечается, что обсуждение исследования ИАСАП касалось лишь радиологических аспектов принятия решений в отношении необходимости коррективных мер. Соображения политического, экономического и социального характера, которые должны составлять важную часть процесса принятия решений, не учитываются и представлены в основном на усмотрение национального правительства, имеющего юрисдикцию и несущего ответственность за сброшенные радиоактивные отходы. □