

# Сброс радиоизотопов в море

---

Д. Ван Ас и В. О. Форстер

## ВВЕДЕНИЕ

Удаление всех типов отходов в океан является хорошо установившейся практикой. Однако характер удаления в море зависит от характера отходов. Жидкие отходы и сточные воды, как правило, поступают в море по прибрежным трубопроводам, в то время как другие попадают в море естественным путем через большие реки. Твердые отходы, шламы и иногда жидкие отходы промышленного происхождения сбрасываются в более глубокие открытые воды с судов.

В ядерной промышленности любой материал-отход, который предположительно может быть загрязнен, как правило, считается радиоактивным и поэтому требует специального обращения и удаления. Значительная часть конструкционных и эксплуатационных материалов, используемых на ядерных предприятиях, в конечном итоге могут оказаться низкоактивными отходами. На ядерных предприятиях образуется целый поток отходов, таких, как химические шламы, битое стекло, использованные фильтры, дезактивационный балласт, демонтированное оборудование, испытательные стенды и горючие материалы, например бумага, дерево, материя и некоторые виды пластика. Все более широкое использование радиоизотопов в промышленности, а также для диагностических и терапевтических целей в медицине ведет к накоплению отходов, которые, хотя и незначительно загрязнены, должны рассматриваться в качестве радиоактивных с точки зрения их удаления.

В настоящее время такие отходы образуются во многих странах и в значительных количествах, и их обработка и удаление представляют собой серьезный вопрос в развитии атомной энергии. Поэтому Мировой океан рассматривается некоторыми странами в качестве возможного места для безопасной изоляции этих отходов.

## ЛОНДОНСКАЯ КОНВЕНЦИЯ

Необходимость в приемлемых международных нормах и правилах по предотвращению загрязнения моря впервые была отмечена на Конференции Организации Объединенных Наций по морскому праву. В рамках этого права в 1958 году были приняты положения Конвенции об открытом море, в которых, в частности, предусматривалось, что компетентные международные организации сформулируют такие нормы и правила.

Во время Конференции Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей среды, состоявшейся в Стокгольме в 1972 году, вновь была выражена необходимость в установлении международного контроля за загрязнением моря. В последующем, в ноябре 1972 года на состоявшейся в Лондоне межправительствен-

---

Г-н Ван Ас и г-н Форстер являются сотрудниками Секции обращения с отходами Отдела ядерной безопасности и защиты окружающей среды МАГАТЭ.

ной конференции была принята Конвенция о предотвращении загрязнения моря сбросами отходов и других материалов (в дальнейшем именуемая "Конвенция").

Согласно Конвенции требуется осуществление международного контроля за всеми источниками загрязнения морской среды, особенно "за любым преднамеренным удалением в море отходов или других материалов с судов, самолетов, платформ или других искусственно сооруженных в море конструкций", и за любым преднамеренным захоронением в море самих таких судов, самолетов и т.д. В сферу действия Конвенции не входит предотвращение загрязнения моря в результате нормальной эксплуатации судов, самолетов и т.д. или непосредственно в результате исследования или разработки минеральных ресурсов морского дна. В конвенцию также не входит предотвращение загрязнения от источников, расположенных на суше, через посредство рек, прибрежных или подводных трубопроводов.

Целью Конвенции является предотвращение любого загрязнения моря в результате такого сброса, который может создать опасность для здоровья человека, повредить живым ресурсам и жизнедеятельности в море, принести ущерб удобствам или повлиять на другие законные виды использования моря.

Конвенция определяет три категории материалов, а именно: i) материалы, которые запрещены к сбросу в океан, ii) материалы, которые требуют специального разрешения на сброс и iii) другие отходы и материалы, требующие лишь общего разрешения. Радиоактивные отходы и другие радиоактивные материалы включены в категорию "i" и "ii". МАГАТЭ было поручено дать определение высокоактивных отходов или других высокоактивных материалов, которые запрещается сбрасывать в море, а также представить рекомендации о выдаче специальных разрешений на сброс радиоактивных материалов, которые не подпадают под это определение. Эти материалы таким образом войдут в категорию "ii".

Конвенция вступила в силу 30 августа 1975 года, и на сегодняшний день ее ратифицировали 39 стран. Обязанности Секретариата Конвенции выполняет Межправительственная морская консультативная организация (ИМКО).

## ВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ВРЕМЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ МАГАТЭ

В течение 1973 и 1974 годов Агентство созывало различные консультативные группы для оказания помощи в формулировке Временного определения высокоактивных отходов или других высокоактивных материалов, недопустимых для сброса в море. В результате этого было сформулировано временное определение, которое основывалось на концепции ограниченной емкости глубинных вод на глубинах более 2000 м. Эта емкость характеризуется таким ежегодным вкладом радионуклидов, который приведет в результате поступления через критические цепочки к индивидуальным дозовым коммитментам облучения, равным пределу дозы для отдельных лиц населения. Эти пределы доз являются пределами, которые рекомендованы Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ), а именно 500 мбэр в год.

С целью захоронения радиоактивных отходов Агентство по ядерной энергии (АЯЭ) Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) рассчитало при помощи океанографической модели, разработанной Веббом и Морлеем [1], емкость северо-восточной части Атлантического океана. Этот конкретный район, также как и используемая модель, считались представительными. Временное определение МАГАТЭ основывалось на этом расчете. Используя расчетную емкость этого бас-

сейна океана, были введены коэффициенты безопасности, для того чтобы учесть а) места сброса, которые могут быть менее благоприятными, чем те, которые использовались при расчете (коэффициент 100), б) многократный сброс в любом конкретном районе (вновь коэффициент 100). Считалось, что намеренное введение определенного коэффициента безопасности 10, который больше и выше расчетного неопределенного коэффициента безопасности, принятого примерно за 10000 (из-за консервативного характера расчета), обеспечит защиту человека и морской среды.

Для целей Конвенции требовалось сформулировать Определение в виде концентрации радионуклидов. Для выполнения этой задачи нормы сброса были разделены на предполагаемый верхний предел ежегодной общей нормы сброса, равняющийся 100000 тонн в год для одного места сброса. Данные концентраций, рассчитанные на основании этого Временного определения высокоактивных отходов, недопустимых к сбросу, приводятся в таблице 1. Кроме того, были подготовлены рекомендации для национальных официальных органов по определенным минимальным требованиям к сбросу радиоактивных отходов, концентрация которых меньше, чем концентрация этих высокоактивных отходов. Эти требования включают проведение оценки окружающей среды, выбор места сброса, выбор упаковки, наблюдение и контроль за действиями по захоронению, т.е. все те требования, которые должны быть выполнены, прежде чем будет выдано разрешение на захоронение.

На своем первом Консультативном совещании в сентябре 1976 года договаривающиеся стороны Лондонской конвенции (т.е. те, кто подписал соглашение) приня-

**Таблица 1. Определение МАГАТЭ высокоактивных отходов, недопустимых для сброса в океан**

Группы радионуклидов	Временное (сентябрь 1976 года) INFCIRC/205/Add.1 [3]	Пересмотренное (октябрь 1978 года) INFCIRC/205/Add.1/Rev.1 [3]
	Ки/т отхода	Ки/т отхода
1. $^{226}\text{Ra}$	$10^2$ Ки/год	$10^{-1}$ ( $10^4$ Ки/год)
2. Общие альфа-излучатели	10	1
3. $^{90}\text{Sr}$ и $^{137}\text{Cs}$ *	$10^2$	$10^2$
4. Общие бета-излучатели	$10^3$	—
5. Тритий**	$10^6$	$10^6$

(Верхний предел совокупной нормы сброса принимается за 100000 тонн в год)

\* В пересмотренном Определении в эту группу включаются все бета-гамма-излучатели с периодом полураспада более 6 месяцев.

\*\* В пересмотренном Определении в эту группу включаются бета-гамма-излучатели с периодом полураспада короче 6 месяцев.

ли Временное определение и Временные рекомендации для целей Конвенции. Вместе с тем договаривающиеся стороны обратились с просьбой к МАГАТЭ улучшить Определение и Рекомендации.

## ПЕРЕСМОТРЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПЕРЕСМОТРЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Высказывалось опасение, что океанографическая модель, используемая в Определении, неточно отражает действительные физические процессы дисперсии в океане, и имелось также сомнение в полезности этой модели для прогнозирования уровня концентрации в воде даже в небольших масштабах времени. Модель совершенно не подходила для оценки уровней концентрации в масштабах времени, превышающих несколько сотен лет, и в ней недостаточно четко рассматривались многие возможные биологические цепочки, по которым радионуклиды могут перемещаться в морской среде.

При рассмотрении океанографической модели в декабре 1976 года было высказано мнение о том, что сегодняшнее понимание океанографических процессов является недостаточным и что ни одна отдельная всеобъемлющая модель не может описать перемещения радионуклидов со дна океана через морскую среду к человеку. Океанографическая модель, разработанная Шефердом [2], считалась наилучшей, особенно для долгосрочных (более 100 тыс. лет) процессов переноса в конечном океанском бассейне. Эта модель достаточно точна для промежуточных и более коротких масштабов времени (менее 500 лет). С помощью этой модели можно рассчитать равновесную концентрацию, которая будет достигнута в результате постоянного выброса радионуклидов, которые остаются неопределенно долго в придонных слоях океана; она позволяет также рассчитывать концентрации по всей глубине океана. В качестве общего океанского бассейна брался номинальный объем  $10^{17} \text{ м}^3$ .

В связи с тем, что биологические пути могут замкнуть перенос радиоактивности с морского дна и придонных слоев воды к человеку, нельзя гарантировать изоляцию этой радиоактивности от человека и его пищевых цепочек. Поэтому было предположено наличие очень медленной вертикальной диффузии, при которой радиоактивность в основном остается в придонных слоях океана. Затем делается предположение, что эти придонные слои являются источником всех критических путей к человеку. Далее принималось, что практика сбросов отходов в океан и последующее высвобождение радионуклидов в глубокие океанские воды будет происходить равномерно в течение периода времени в 40000 лет — среднее время жизни плутония-239<sup>1</sup>. Это предположение является консервативным, поскольку маловероятно, чтобы производство энергии за счет ядерного деления продолжалось более нескольких столетий, даже при условии использования реакторов-размножителей.

Накопление долгоживущих радионуклидов в морской воде в указанный период времени зависит от периода полураспада радионуклида. Отдельные краткосрочные, мелкомасштабные физические океанографические явления, которые могут происходить и затрагивать ограниченные районы, а не весь бассейн океана, не рассматриваются в модели Шеферда и рассматривались отдельно. К этим явлениям относятся подъем глубинных вод и постоянные сильные горизонтальные донные течения. В случае радионуклидов, имеющих период полураспада менее 500 лет, эти местные

---

<sup>1</sup> "Среднее время жизни" учитывает период полураспада радионуклида, а также биологические и другие процессы рециркуляции, происходящие в океане.

процессы приведут к более высоким концентрациям по сравнению с долгосрочными процессами, влияющими на океан в целом.

При дальнейшем расчете пределов норм выброса различие делается между выбросами на единичной площадке и выбросами на нескольких площадках в одном и том же океанском бассейне. Для радионуклидов, имеющих период полураспада более 500 лет, нормы выброса ограничиваются крупномасштабными процессами, которые влияют на все площадки в океанском бассейне. Для более короткоживущих нуклидов пределы норм выброса для отдельной площадки являются более жесткими, чем для океанского бассейна в целом. В этом случае предел для бассейна может набираться только путем распределения отходов между различными площадками.

Для радиологической оценки были рассчитаны пределы нормы сброса для 80 наиболее важных радионуклидов, которые могут присутствовать в отходах ядерного топливного цикла, а также образовываться из других источников. Были выбраны 12 общих путей, которые могут привести к облучению человека в прибрежных зонах; были включены также некоторые уже известные пути и пути, которые могут стать важными в будущем. 5 путей связаны с потреблением морской пищи, 4 — с облучением лиц, проживающих в прибрежных районах, и 3 других пути — с купанием, потреблением опресненной воды и использованием морской соли для бытовых целей. Значения параметров, используемых в этих расчетах, сохранялись как можно более общими и основывались на данных, полученных из районов, где потребление морской пищи и населенность прибрежных районов были высокими.

Пределы норм выброса, рассчитанные для различных путей, являются пределами, основывающимися на пределах дозы МКРЗ (500 мбэр в год) для лица с наибольшим облучением; эта доза является верхним пределом, который нельзя достигать. Используя критический путь для каждого радионуклида, рассчитывался соответствующий предел нормы выброса для каждого отдельного радионуклида. Для большего удобства и аналитической простоты радионуклиды группировались в три категории согласно основным свойствам типа распада и периода полураспада, и полученные пределы норм выброса представляли собой уровень концентрации по наиболее ограничивающим радионуклидам в конкретной группе.

Был сделан важный вывод о том, что при постоянном выбросе радионуклидов в глубины океана исходная концентрация в районе источника, вероятно, не будет иметь значения при определении опасности для человека; контролировать же следует именно совокупное воздействие всех радиоактивных источников.

Однако для целей Лондонской конвенции нормы выброса вновь были разделены на предполагаемую верхнюю норму сброса, равняющуюся 100 000 тоннам в год. Затем были рассчитаны новые значения для Определения, которые приводятся в таблице 1. Следует отметить, что эти цифры определяют материалы, недопустимые к сбросу, но из этого не следует, что материал, в котором концентрация ниже обусловленной в Определении, может считаться допустимым для сброса.

В Пересмотренных рекомендациях четко оговаривается, что ответственные национальные органы должны следовать последним рекомендациям МКРЗ, касающимся обоснования и оптимизации при выдаче специальных разрешений на сброс радиоактивных материалов. Рекомендуется проводить подробные экологические оценки и оценку окружающей среды, где рассчитываются дозовые коммитменты для населения через критические пути, рассматривается риск для экосистем, а об-

щая рентабельность этой деятельности сравнивается с альтернативными стратегиями, такими, как захоронение отходов на суше.

Перечисляются другие конкретные требования к местам сброса отходов. Они включают минимальную глубину в 4000 м, которая находится ниже глубин промыслового рыболовства; в них также имеется предостережение против случайного извлечения упаковок с радиоактивными отходами. Площадки должны располагаться вдали от континентальных вод и островов, а также не во внутренних морях и не в районах потенциального рыболовства или минеральных ресурсов морского дна. Следует избегать районов с известными природными проявлениями, такими, как вулканическая активность.

Отходы должны находиться в твердом виде и упаковываться таким образом, чтобы они достигали дна без повреждения.

### ОЦЕНКИ КОНКРЕТНЫХ ПЛОЩАДОК

Расчеты, которые привели к Пересмотренному определению, основываются на обобщенных параметрах. Когда нельзя было получить конкретные данные, использовались консервативные предположения. Несмотря на значительные неопределенности, рассчитанные нормы сброса являются самыми лучшими оценками на сегодняшний день. Особую важность для оценок конкретных площадок представляют собой значения ключевых параметров, таких, как:

- бентические донные течения, которые могут повлиять на краткосрочную дисперсию радиоактивности и на ее возвращение к человеку;
- время переноса, которое включает время жизни контейнера и перенос содержимого через пищевые цепочки к человеку;
- морская биологическая активность, т.е. знания ключевых организмов в непосредственной близости от площадки сброса, коэффициенты концентрации для критических радионуклидов и пути этих радионуклидов к человеку;
- взаимодействие осадков и воды; распределение радионуклидов, попавших в воду из контейнеров, будет определять их наличие при дальнейшем переносе;
- следует учитывать вклад других источников радиоактивности, поскольку это определение связано с облучением от всех источников радиоактивности, кроме естественных источников.

### КООРДИНАЦИЯ СО СТОРОНЫ АЯЭ И ПРИОБРЕТЕННЫЙ ОПЫТ

В 1977 году Совет ОЭСР создал Многосторонний консультативный орган по надзору за сбросом в море радиоактивных отходов, имеющий задачу содействия целям Конвенции. Этот орган осуществляет региональное сотрудничество в деле эффективного применения мер, направленных на защиту морской среды от радиоактивного загрязнения от всех источников и содействует их осуществлению. Он также подвел итоги десятилетних усилий АЯЭ в оценке норм, руководящих принципов, рекомендованных методов и процедур безопасного сброса радиоактивных отходов в море.

За последнее десятилетие многие страны стали пользоваться океаном в качестве среды для удаления отходов, а именно: Бельгия, Федеративная Республика Германии, Франция, Нидерланды, Швеция, Швейцария и Соединенное Королевство. Федеративная Республика Германии, Франция и Швеция не осуществляют деятельности по сбросу отходов в море с 1971 года. История деятельности сброса радиоактивных отходов, как она осуществлялась странами, приводится в таблице 2 и сви-

**Таблица 2. Предыдущая практика сброса радиоактивных отходов на площадке в Северном Атлантическом океане**

Группы радионуклидов	Общее количество сброшенных отходов за 10 лет (1967-1978 годы) (Ки)	Ежегодно сбрасываемое количество отходов в % от пределов, содержащихся в Определении
$^{226}\text{Ra}$	$10^2$	0,1%
Общие альфа-излучатели	$7 \times 10^3$	0,7%
Бета-гамма-излучатели	$2 \times 10^5$	0,2%
Тритий	$2,5 \times 10^5$	0,001%

Принимается: 1) Средняя норма сброса в год равна средней норме выделения радионуклидов.  
 2) Все радиоактивные материалы, сброшенные ранее, сбрасывались на настоящей площадке.

детельствует о том, что количество, сброшенное за последние десять лет, является лишь незначительной долей от тех количеств, которые даются в Определении. Однако, как говорилось ранее, концентрации ниже обусловленных в Определении, не всегда допустимы для сброса. В рекомендациях подчеркивается, что любой сброс радиоактивности должен осуществляться на основании специального разрешения, которое базируется на оценке окружающей среды и на практике оптимизации, когда коллективные дозы излучения поддерживаются на самом низком практически достижимом уровне, учитывая при этом экономические и социальные факторы.

В 1974 году АЯЭ опубликовало руководящие принципы по упаковкам радиоактивных отходов, используемым для удаления отходов в море. Эти принципы были пересмотрены в 1978 году на основании более поздней информации и опыта. Секретариат АЯЭ и национальные представители рассмотрели опыт самых последних операций по сбросу отходов в море. Они пришли к выводу, что ряд вызывающих сомнение контейнеров составлял лишь небольшой процент от числа сброшенных контейнеров. Однако они обнаружили ряд факторов, вызывающих беспокойство: присутствие жидкостей в некоторых баках с отходами, падение и повреждение упакованных отходов (контейнеров) из-за неполадок с крановым оборудованием, плохая конструкция креплений контейнеров, проржавевшие или деформированные баки, неправильно подогнанные или отсутствующие крышки и низкая плотность упаковок. В ряде случаев были высказаны сомнения, касавшиеся соответствия контейнеров руководящим принципам АЯЭ.

## СБРОС НЕРАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В отличие от радиоактивных отходов, которые определяются в зависимости от концентрации опасных материалов в отходе, считающимися недопустимыми к сбросу, другие отходы и материалы определяются количественным описанием загрязнителя. В Конвенции предусмотрено, что микроколичества и незначительные количества таких загрязнителей, определяемые как менее 0,1% по весу, должны исключаться из-под действия положений Конвенции.

Определение "*de minimis* количества" радиоактивности в настоящее время рассматривается с целью определения обычных концентраций, которые затем могут быть использованы для рассмотрения выдачи общего разрешения на сброс согласно положениям Конвенции.

Там, где речь идет о радиоактивных веществах, рекомендации МАГАТЭ содержат критерии по выбору площадки сброса, контролю и оценке окружающей среды, упаковке отходов, оперативному контролю за сбросом и т.д. Подобные критерии еще не разработаны для нерадиоактивных веществ, а также не принят механизм многосторонних консультаций и надзора. В результате этого страны, сбрасывающие нерадиоактивные отходы в океан, используют различную практику.

### Литература

- [1] Webb, G.A.M., Morley, F., "A model for the evaluation of the deep ocean disposal of radioactive waste", NRPB-R-14, Harwell, UK (1973).
- [2] Shepherd, J.G., "A simple method for the dispersion of radioactive wastes dumped on the deep sea bed", Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, UK, Fisheries Research Technical Report No.29 (1976).
- [3] Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, INFCIRC 205, IAEA (11 June 1974), Vienna. (Also INFCIRC 205/Add.1, and INFCIRC 205/Add.1/Rev.1).