

2. С. А. Коль. «Тр. Гос. гидрогеол. ин-та», Вып. 8 (62). М., Гидрометеоиздат, 1948.
3. С. Я. Вартазаров, В. А. Волохов, Н. Я. Флексер, А. И. Яковлев. Радиоактивные изотопы и ядерные излучения в народном хозяйстве СССР. Т. 2. М., Гостехиздат, 1961; Н. Я. Флексер, О. П. Шипенко. «Разведка и охрана недр», № 6, 42 (1961); Н. Я. Флексер. «Гидротехн. стр-во», № 1, 28 (1963).
4. А. А. Абдулаев. «Узб. геол. ж.», 1, 57 (1962).
5. М. П. Воларович, П. И. Ильин, Н. В. Чураев. «Торф. пром-сть», № 7, 9 (1961); «Коллоидн. ж.», 23, 524 (1961); П. И. Ильин, Н. В. Чураев. «Торф. пром-сть», 5, 18 (1961).
6. О. Н. Носова. «Изв. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та гидротехн.», 69, 143 (1962).
7. В. П. Николаевский. «Прикл. матем. и механ.», 23, 1042 (1959); «Изв. АН СССР. Мех. и маш.», 5, 189 (1960); Сб. «Новые методы измерений и приборы для гидравлических исследований». М., Изд-во АН СССР, 1961.
8. Н. В. Чураев. «Торф. пром-сть», 8, 20 (1961).
9. В. А. Розин, В. И. Евдокимова. Осушение болотных и заболоченных почв. Минск, Изд-во АСХН БССР, 1960.
10. Т. А. Абдурагимов, С. Ф. Аверьянов, В. В. Рачинский. «Изв. Тимирязевск. с.-х. акад.», 1, 326 (1963).
11. Д. И. Лейпунская, А. Я. Пруслин. В кн. «Тр. Всесоюз. науч.-техн. конф. по применению изотопов и ядерных излучений в нар. хоз-ве». Т. 4. М., Госэнергоиздат, 1958, стр. 62.
12. Н. В. Глазов. Применение радиоактивных изотопов в инженерных изысканиях. М., Госатомиздат, 1962; О. К. Леонтьев, В. Н. Афанасьев. «Изд. океанограф. комиссии АН СССР», 3, 73 (1963).

## Проблема удаления радиоактивных отходов

А. Н. Марей

Несколько заседаний Третьей международной конференции по использованию атомной энергии в мирных целях было посвящено обсуждению вопросов, касающихся обеспечения радиационной безопасности населения при воздействии радиоактивных отходов предприятий атомной промышленности и атомных электростанций. Эти вопросы нашли отражение в докладах \*, представленных на конференции Индией, ОАР, Советским Союзом, США, Францией, Чехословакией, Японией и др.

Принципы охраны внешней среды от радиоактивных загрязнений в США, Канаде и других странах по существу идентичны принятым в Советском Союзе. Все они преследуют цель уменьшить количество радиоактивных веществ в удаляемых отходах до таких уровней, при которых риск облучения населения будет ниже предельно допустимых доз, установленных Международной комиссией по радиационной защите и другими авторитетными организациями.

Способы, используемые для достижения указанной цели, различны. Основное внимание уделяется максимальному уменьшению количества жидких и газообразных отходов, подлежащих удалению в окружающую среду, прежде всего путем рационализации и усовершенствования технологических процессов. Этим вопросам были посвящены доклады СССР (379) \*\*, США (278, 282, 869), Франции (86) и ФРГ (783). Одним из примеров, демонстрировавшихся участникам конференции в короткометражном фильме (США), является замена химического метода удаления (растворение) оболочки с облученных твэлов механическим, что практически исключает возникновение соответствующих жидких радиоактивных отходов. Не меньшее значение придается техническому усовершенствованию производственного оборудования и аппаратуры с целью снижения утечки радиоактивных растворов и газов в окружающую среду в количествах, представляющих

опасность (278, 282, 869). В некоторых случаях решение задачи достигнуто широким использованием легко сменяемых покрытий, что устраняет необходимость дезактивации поверхностей. Для дезактивации загрязненного крупногабаритного оборудования с успехом применяют дробеструйные методы и т. д. (869). Повторно используют первичный теплоноситель не только на промышленных реакторах (Ок-Ридж), но также и на реакторах, предназначенных для научно-исследовательских целей (379, 869). Так, заслуживают внимания некоторые данные, полученные при ознакомлении членов советской делегации с работой исследовательского реактора в Гренобле (Франция); при объеме дистиллированной воды в первом контуре реактора ~ 600 м<sup>3</sup> оборот ее через ионообменные фильтры производится со скоростью 1600 м<sup>3</sup>/ч.

Большое внимание уделяется также переработке радиоактивных отходов и их контролируемому удалению. Этим вопросам было посвящено относительно большое количество докладов от нескольких стран: Бельгии (774), Великобритании (188), Индии (794), ОАР (813), СССР (587), США (278, 869), Франции (86, 88), ФРГ (783), Чехословакии (775).

Из представленных на конференцию материалов следует, что высокоактивные жидкие отходы, образующиеся на соответствующих производствах, хранятся в специальных подземных емкостях. При этом создаются условия, гарантирующие невозможность их поступления в окружающую среду не только при нормальной обстановке, но и в случае аварии.

Это достигается созданием нескольких «барьеров» в виде двух металлических и бетонной стенок емкостей (281). Хотя отверждение таких отходов стеклованием (188, 282, 587) и другими способами признается наиболее прогрессивным, однако из-за экономических и технических причин эти методы практически еще не вышли из стадии экспериментов и в производственных масштабах пока не используются.

Обезвреживание жидких отходов средней удельной активности ( $10^{-5}$ — $10^{-1}$  кюри/л) производится различно. В большинстве стран (США, Канада, Франция и др.) они подвергаются дезактивации с использованием различных методов. В частности, большое внимание уде-

\* Перечень докладов советских ученых опубликован в «Атомной энергии», 17, вып. 3, 235 (1964), а список докладов зарубежных ученых — в «Атомной технике за рубежом», № 9, 27 (1964).

\*\* В круглых скобках указаны номера докладов.

ляется использованию природных и искусственных сорбентов, дающих высокий эффект дезактивации (86, 88, 278, 282, 775). Наряду с этим в США практикуется удаление указанных отходов в землю с помощью поглощающих колодцев (Ханфорд, Ок-Ридж). Однако, как показал опыт эксплуатации, использование этого метода далеко не всегда является безопасным. Так, по сообщению У. Белтера (869), через 10 лет после начала удаления отходов в поглощающие колодцы значительное количество  $Ru^{106}$  стало поступать через грунт в реку. Ликвидация старых и перемена места расположения новых поглощающих колодцев не устранили опасности загрязнения реки. Поэтому в Ок-Ридже начиная с 1964 г. взамен удаления жидких среднеактивных отходов в землю намечено обезвреживание их выпаркой на специально созданной установке. Приведенный пример служит наглядным подтверждением того, что удаление жидких отходов в грунт допустимо только при благоприятных гидрогеологических и санитарных условиях. Заслуживают внимания проводившиеся в Ок-Ридже экспериментальные исследования по инъекции под высоким давлением жидких отходов средней удельной активности в геологические структуры, а также опыт захоронения их в соляных выработанных коях (282, 783, 869).

Наибольший интерес в данной проблеме представляют пути решения задач по удалению и обезвреживанию жидких отходов низкой удельной активности ( $10^{-5}$ — $10^{-9}$  кюри/л), чаще всего являющихся причиной загрязнения открытых водоемов.

В разных странах эти задачи решаются различными способами, что обусловлено, в частности, природно-географическими условиями, плотностью населения и др., а также в значительной мере зависят от того, имеют ли дело со сложившейся обстановкой на действующих предприятиях или со строящимися и проектируемыми заводами и атомными электростанциями. Показано (282, 287, 869), что в США на действующих промышленных реакторах и заводах по переработке облученного топлива сточные воды низкой удельной активности по-прежнему через систему прудов, болот и т. п. спускают в реки, имеющие огромные расходы (тысячи кубических метров в секунду). Вследствие осуществления за последние 3—5 лет мероприятий по уменьшению количества удаляемых отходов содержание радиоактивных веществ в воде таких рек (287) в настоящее время не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК).

В США за последние годы при удалении жидких радиоактивных отходов на новых заводах по переработке ядерного топлива и действующих и проектируемых атомных электростанций, наряду с уменьшением объемов этих отходов обеспечивается условие, при котором концентрация радиоактивных веществ в сточных водах не превышала ПДК. Кроме того, использовано последующее разбавление в водоеме с таким расчетом, чтобы концентрации указанных веществ в воде водоемов вблизи места выпуска отходов были на 4—5 порядков меньше ПДК (281).

В таких странах, как Великобритания и Индия, расположение объектов вблизи моря и наличие благоприятных гидрологических условий позволяет удалять жидкие отходы низкой удельной активности в море на достаточно большом расстоянии от берега, что создает надежные условия для интенсивного разбавления и, по данным авторов доклада (788), обеспечивает требования радиационной безопасности.

Задача обезвреживания твердых отходов любой удельной активности в большинстве стран решается

захоронением их в землю (278, 379, 774, 813, 869, 870). Надежность и экономичность такого захоронения обусловили, в частности, прекращение дальнейшего удаления твердых радиоактивных отходов в море, что ранее широко практиковалось в США и Франции (287, 869).

Решающая роль в обеспечении радиационной безопасности при захоронении твердых отходов в земле отводится принципу использования благоприятных гидрогеологических природных условий. Это позволяет во многих случаях значительно снизить требования к конструкции могильников вплоть до захоронения отходов при благоприятных условиях (глиста и т. п.) непосредственно в грунт.

С целью снижения расходов на транспортировку и уменьшения площадей могильников предусматривается максимальное уменьшение объемов твердых отходов, подлежащих захоронению. При этом основное внимание уделяется прессованию. Существенный интерес представляют используемые в США способы сухой дезактивации дробеструйной очисткой (869), имеющих важное экономическое значение для последующей утилизации загрязненных металлических конструкций. Не вызывает сомнений, что такие способы при создании соответствующих устройств применимы и для дезактивации мелких металлических деталей.

В представленных на конференции докладах недостаточно освещены вопросы удаления газообразных отходов. Крайне слабо представлены сведения о выбросах из реакторов радиоактивных благородных газов, в частности  $Ar^{41}$ , и их санитарной значимости (582). Также весьма скромно изложены данные о радиоактивных аэрозолях, удаляемых из атомных электростанций и предприятий по переработке облученного топлива. Вместе с тем вполне обоснованно уделяется серьезное внимание значению  $J^{131}$ , как одного из наиболее серьезных факторов радиационной опасности (186, 281, 869). Это обусловлено необходимостью защиты от переоблучения детских организмов, т. е. контингента, наиболее чувствительного к воздействию ионизирующих излучений (281). Соблюдение жестких ограничений содержания  $J^{131}$  в атмосферном воздухе в районе расположения источников загрязнения в США обеспечивается устройством специальных фильтров, задерживающих 99,5% данного изотопа. Наряду с этим ставится вопрос о необходимости увеличения срока выдержки облученных твэлов до 150 суток (281).

Кроме мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности населения при нормальной эксплуатации соответствующих заводов и атомных реакторов, в некоторых докладах затрагиваются вопросы, касающиеся предупреждения загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами при аварийных ситуациях на реакторах (276, 282). Решение этих вопросов обеспечивается двойным путем — предупреждением аварии и локализацией загрязнений в пределах данного предприятия. Наряду с чисто техническими вопросами, связанными с усовершенствованием мероприятий по предупреждению «утечки» радиоактивных материалов из соответствующих систем, серьезное внимание уделяется их локализации в пределах расположения реактора. Одним из основных приемов для этой цели является устройство над реактором металлической или железобетонной защитной оболочки. Подобные устройства за рубежом получили признание и нашли довольно широкое применение в практике строительства реакторов (276).

Несмотря на имеющиеся достижения в области ограничения количества радиоактивных выбросов, их дезактивации, создания средств защиты при аварий-

ных ситуациях и т. д., нельзя не считаться с тем обстоятельством, что заводы по переработке облученного топлива, реакторы и атомные электростанции являются потенциальными источниками загрязнения окружающей среды; это вызывает необходимость размещения данных предприятий в мало заселенных районах. В докладе (281) показано, что при строительстве новых заводов по переработке облученного топлива в США учитывают это правило. В радиусе  $\sim 40$  км от такого завода нет населенных пунктов с населением более 10 000 человек, а ближайший от него населенный пункт находится на расстоянии  $\sim 7$  км. Необходимость создания подобных разрывов от жилья вытекает из данных, приведенных в том же докладе, согласно которым максимальные концентрации радиоактивных газов при нормальной эксплуатации завода и средних метеорологических условиях создаются на расстоянии 1500 м от трубы, а при инверсиях на расстоянии 4000—10 000 м от трубы.

Отсюда можно заключить, что принципиальная сторона вопроса о необходимости создания разрыва (санитарно-защитной зоны) между жилыми районами и промышленными предприятиями в США решается так же, как и в Советском Союзе. Различны лишь конкретные значения величин этих разрывов и юридическая сторона их оформления.

В Советском Союзе, как известно, для атомных электростанций и других потенциальных источников загрязнения местности радиоактивными веществами, подобно тому, как это узаконено для предприятий иных отраслей промышленности, устанавливаются конкретные размеры санитарно-защитных зон в зависимости от класса их вредности и в пределах зоны вводится соответствующий санитарный режим.

Как следует из доклада (281), в США нет конкретных, четких размеров защитной зоны. В этом докладе не указан также характер и объем профилактических мероприятий, проводимых в пределах таких зон. Принятое в США и некоторых других странах понятие «контролируемые зоны», с нашей точки зрения, теперь потеряло свое значение и смысл, так как в последние годы в связи с глобальными выпадениями контроль за радиационной обстановкой проводится повсеместно.

Со стороны канадских и американских специалистов был проявлен большой интерес к вопросам обоснования размеров санитарно-защитных зон в Советском Союзе.

Особого внимания заслуживают вопросы контроля активности удаляемых отходов и обусловленной ими радиационной обстановки на окружающей местности (186, 278, 282, 287, 379, 794, 849, 870). Обращает на себя внимание заметный прогресс в этой области, характеризующийся применением наиболее совершенных приборов и методов, позволяющих более оперативно и с гораздо меньшей затратой сил выполнять необходимый объем соответствующих исследований. Трудом-

емкие радиохимические методы везде, где это возможно, заменяются  $\gamma$ -спектрометрическими, система периодических отборов проб в некоторых случаях заменяется автоматическими непрерывными измерениями и т. д. Поскольку мероприятия по санитарной охране внешней среды от загрязнения радиоактивными веществами являются не самоцелью, а лишь средством для обеспечения радиационной безопасности населения, очевидно, что одним из основных разделов контроля является установление доз, получаемых соответствующими контингентами людей. Поэтому большую значимость представляют методы прижизненного определения содержания в организме искусственных радиоактивных веществ и идентификации доз, обусловленных этими изотопами. Существующие расчетные методы в подобных случаях могут дать лишь ориентировочные значения. Наиболее точные результаты получают путем непосредственных измерений. Подтверждением этому служат данные доклада (287) по содержанию искусственно радиоактивных веществ в организме людей, измеренному с использованием специальных спектрометров. Несомненно, что данный метод, получивший в настоящее время наиболее широкое распространение в США, вполне оправдывает свое назначение. Вместе с тем следует отметить, что, судя по тексту доклада (287), в США пока не используются некоторые из методов прижизненного определения  $Sr^{90}$ , применяющихся в Советском Союзе (по измерению излучения зубов). Практическая значимость и надежность методов прижизненных измерений обеспечивает им большие перспективы в целях контроля за радиационной обстановкой.

В заключение следует подчеркнуть, что для правильного решения проблемы охраны внешней среды от загрязнения радиоактивными отходами заводов по переработке облученного ядерного топлива и АЭС весьма существенную роль играет полнота программы и качество изысканий, предшествующих проектированию указанных предприятий. С этих позиций определенный интерес представляет доклад (281), где излагается подход к указанным вопросам в США. Из данных доклада следует, что тщательно проведенные изыскания, а также детальный анализ полученных материалов позволяет сразу же проектировать надежную и относительно дешевую систему контроля радиационной обстановки. Анализ вероятной радиационной обстановки, возникающей в районе завода при нормальной его эксплуатации и при различных аварийных ситуациях, позволяет также предусматривать в проекте необходимые защитные мероприятия.

Серьезные успехи по обеспечению радиационной безопасности населения в районах расположения атомных электростанций и других источников радиоактивных отходов, а также целенаправленность исследований, проводимых в данной области, позволяют считать, что эта проблема в недалекой перспективе будет полностью решена.

