

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВОД

А. Н. Марей

Вопросы предупреждения загрязнений внешней среды радиоактивными отходами с течением времени приобретают все большее значение.

По единодушному мнению ряда авторов [Либерман (1955) и др.], с которым нельзя не согласиться, наибольшее внимание уделяется вопросам обезвреживания промышленных сточных вод, содержащих продукты деления урана и наведенную активность. Наряду с этим в связи с широким использованием в научных целях и в народном хозяйстве ряда радиоактивных изотопов все большее санитарное значение приобретают сточные воды различных учреждений, где ведутся работы с радиоактивными изотопами. Отсюда возникает необходимость коснуться также методов, применяемых при обезвреживании жидких радиоактивных отходов, содержащих органические вещества и другие примеси, обычно не свойственные промышленным сточным водам.

Сущность всех способов, используемых для обезвреживания жидких радиоактивных отходов, заключается в четырех основных приемах: а) выдержка с целью естественного распада содержащихся в них короткоживущих радиоэлементов; б) извлечение радиоэлементов из больших объемов жидкости, концентрация в малых объемах с последующим захоронением; в) контролируемое хранение высокоактивных жидких отходов в течение неопределенно длительного времени; г) разбавление слабоактивных отходов чистой водой до безопасных уровней.

Выдержка сточных вод является единственным специфическим методом дезактивации, где используется радиоактивный распад. Чаще всего этот метод применяется в СССР и за рубежом для уменьшения концентрации радиоактивных веществ в сточных водах реакторов, содержащих преимущественно короткоживущие радиоизотопы [Д. И. Блохинцев, Н. А. Николаев (1955), Уолман и Гормон (1955), Финч (1956)]. Для улучшения эффективности дезактивации рекомендуется улучшить процесс подготовки воды, подаваемой в реактор, путем удаления из нее грубодисперсных примесей и ионов железа, кальция, лития, натрия, бария и серы во избежание образования соответствующих радиоактивных изотопов [Лове (Love) и др. (1956)].

Метод выдержки используется также для снижения уровней активности жидких отходов, содержащих свежие осколочные продукты деления урана, в которых имеется часть короткоживущих изотопов, например йод-132, церий-141 и др. [Лири, Кларк, Хаммонд (1955), Броудер (1955) и др.]. Эффективность метода выдержки определяется составом радиоактивных элементов и экспозицией.

Все остальные методы дезактивации являются неспецифическими. Самым простым и надежным, как справедливо указывают Роджер и Фийнеман (Rodger, Fineman, 1951), Либерман и Гормон (1955), Мак Келлох (1955) и др., является упаривание (дистилляция). По данным Броудера, полученным на полупроизводственной установке в Ок-Ридже, коэффициент очистки слабоактивных отходов колебался от $3 \cdot 10^3$ до $3 \cdot 10^4$. При дезактивации высокоактивных отходов, содержащих выдер-

жанные продукты деления урана, эффективность очистки составляла 99,9% [Хирш (1955)].

Простота и надежность этого метода ставят его в число лучших способов дезактивации сточных вод, особенно в том, где количество их относительно невелико (в пределах десятков кубометров за сутки) и солевой состав низок. В оценке этого способа следует отметить полное единодушие различных авторов [Роджер (1954); Страуб, Мортон и др. (Straub, Morton a. oth. (1951))]. Единственным серьезным недостатком его, ограничивающим возможность широкого использования, является высокая стоимость. В Советском Союзе он нашел применение преимущественно там, где имеется много дешевой тепловой энергии, например для дезактивации воды первого контура на атомных электростанциях.

На втором месте по эффективности стоит метод ионообмена, имеющий богатые перспективы в данной области. Этот метод, как известно, широко используется в практике промышленного водоснабжения для освобождения воды от содержащихся в ней солей [Калмон (1951), Рейд (1951)].

По данным Эрса (1955), коэффициент дезактивации выдержанных продуктов деления урана при фильтрации их последовательно через фильтры из катионитовых и анионитовых смол приближается к 10^5 . Поскольку большинство продуктов деления представляют собой катионы (стронций, редкие земли, цирконий, ниобий и др.), для дезактивации слабоактивных сточных вод иногда используется только одна колонка катионитовой смолы. Следует отметить, что в практике проектирования подобных фильтров коэффициент дезактивации принимается не выше 10^2 .

Применение ионообмена требует предварительного освобождения дезактивируемой воды от механических примесей и органических коллоидов, присутствие которых может значительно снижать скорость фильтрации и ухудшать процессы обмена. Поэтому ионообменные колонны обычно являются заключительным этапом в системе устройств, предназначенных для дезактивации сточных вод.

Эффективность процесса предварительной очистки зависит от состава применяемых коагулянтов. Как установлено рядом исследователей [Страуб, Мортон, Плекен (Placan), 1951; Лаудердаль (Lauderdale), 1955], метод коагулирования сернокислым алюминием и железом является вполне приемлемым для большинства катионов с валентностью 3, 4 и 5, включающих группу редких земель. Однако он менее эффективен для стронция, цезия и особенно для йода, фосфора и др. Наилучшие результаты, полученные при использовании данного метода для дезактивации сточных вод, содержащих смесь продуктов деления, не превышают 70%. Более высокие показатели очистки сточных вод от радиостронция получаются при использовании в качестве коагулянта фосфатов натрия, избыток которых при низких значениях pH позволяет довести очистку, по данным указанных авторов, до 90—99%. Приведенные показатели хорошо согласуются с материалами, полученными Н. М. Никитиным (1959) в условиях лабораторного эксперимента. Этот метод, по сообщению Финч (1956), используется для дезактивации промышленных сточных вод атомной станции в Харуэле.

Существенным недостатком этого метода так же, как и связанного с применением гидратов алюминия и железа, является образование большого количества относительно высокоактивного шлама, обезвреживание и удаление которого представляют сложную задачу. Есть основания полагать, что наиболее практичными окажутся такие методы обезвреживания указанных пульп, как центрифугирование (для малых объемов) и подсушивание на специальных площадках с последующим захоронением в могильниках.

Для получения достаточно высокого эффекта очистки и плотного малообъемного осадка испробована и применяется в качестве коагулянта на действующей очистной установке в Олдермастоне дубильная кислота. Применение ее, по данным Вильсона (Wilson, 1956) и др. в сочетании с улучшением техники флокуляции позволило достигнуть 99,9% удаления радиоактивных веществ, содержащихся в сточных водах атомного центра. Относительно высокая стоимость ее, по-видимому, компенсируется значительной экономией на удалении и захоронении осадков.

Роль песчаных (кварцевых) фильтров, применяющихся в процессе дезактивации жидких радиоактивных отходов, весьма скромна [Геммелл (Gemmell, 1955) и др.]. Она сводится в основном к механической задержке хлопьев коагулянта и части взвешенных веществ, не успевших опуститься на дно отстойника или осадочника. Поэтому песчаные фильтры можно рассматривать лишь как вспомогательные устройства, несколько улучшающие свойства воды, поступающей на ионообменные колонны.

В поисках более дешевых и достаточно эффективных методов дезактивации жидких радиоактивных отходов были сделаны многочисленные попытки использования для этой цели биологических методов [Рукхофт и Сеттер (1955); Иден, Элкинс, Трусдейл (1955); Роджер, Файнман, Е. А. Тимофеева-Ресовская (1958); Б. М. Агафонов (1957) и др.].

Возможность их применения ограничена только сточными водами, имеющими малые уровни удельной активности. Вместе с тем, по мнению Рукхофта и Сеттера, с которыми нельзя не согласиться, данный метод неприменим для очистки воды от радиоактивных изотопов, которые не ассимилируются и не абсорбируются микроорганизмами, населяющими биологическую пленку, например йод-131. Он также неэффективен для удаления радиоактивных изотопов, которые разбавлены в массе стабильных изотопов данного или родственного ему элемента.

Весьма важным обстоятельством является то, что при дезактивации сточных вод, содержащих продукты деления урана, преобладающую роль в задержке последних играют не биологические процессы, а физические и физико-химические, преимущественно сорбция. Так, работами Гейера, Мак-Меррея, Толбойса и Брауна (1958) показано, что поглощение стронция-90, стронция-89, йода-131 живым и убитым активным илом примерно одинаково и эффективность очистки составляет около 20%. Это явление подтверждено для смеси радиоактивных веществ работой В. М. Жоговой, А. Ф. Зайцевой, А. В. Каныгиной (1958). По мнению Идена, Элкинса, Трусдейла (1955), надежность и эффективность биологических методов дезактивации сточных вод вряд ли могут конкурировать с эффективностью и надежностью химических методов, с чем также нельзя не согласиться.

Основное значение биологические методы приобретают там, где возникает необходимость в предварительном освобождении сточных вод от органических веществ, затрудняющих применение химической обработки.

Что же касается возможности использования биологических процессов для дезактивации сточных вод, содержащих долгоживущие осколочные изотопы, то наше мнение здесь расходится с рекомендациями Е. А. Тимофеевой-Ресовской (1958), Б. М. Агафоновой (1957). Не сомневаясь в правильности материалов, указывающих на задержку части радиоактивных веществ в экспериментальных водоемах, необходимо отметить, что авторы, по-видимому, переоценили значение биомассы как поглотителя радиоизотопов и недооценили роль донных отложений как потенциального источника вторичного загрязнения воды. Кро-

ме того, в эксперименте не учтена роль сезонности в развитии планктонных организмов, поглотительной емкости последних и т. д.

Поэтому нет оснований рекомендовать биологические пруды как устройства, обеспечивающие дезактивацию сточных вод, содержащих долгоживущие продукты деления урана.

На основании изложенного видно, что дезактивация указанных сточных вод представляет сложную проблему. Вместе с тем нельзя не согласиться с рядом авторов [Г. М. Середа и др. (1958); Фармер (1957); Тэррилл (Terrill, 1958)], что путем сочетания различных способов можно удалить из сточных вод радиоактивные элементы до любых пределов, обеспечивающих их санитарную безопасность.

В качестве одного из примеров подобных устройств может быть приведена схема, включающая следующие элементы: решетка для задерживания грубых примесей, песколовка, флокуляторы с реагентным хозяйством, отстойники, кварцевые фильтры, ионообменные фильтры.

На некоторых действующих установках предусмотрена возможность повторной обработки воды на различных этапах очистки. На других схема дополнена устройствами для биологической очистки (после отстойников) и т. д.

Следует отметить, что сложность применяемых методов очистки определяется изотопным составом сточных вод, их удельной активностью и санитарными требованиями, предъявляемыми к очистке в том или другом случае, что связано с условиями удаления.

Реальная возможность дезактивации промышленных радиоактивных сточных вод до уровней предельно допустимых, установленных для воды водоемов, позволяет избежать удаления указанных вод в водоем путем повторного использования их после дезактивации. Такая наиболее совершенная в санитарном отношении система, в частности, применена на действующих и строящихся в СССР атомных электростанциях.

Однако она не может быть использована для учреждений, где требуется вода питьевой кондиции. Это относится к лабораториям, лечебным учреждениям и др. Здесь в зависимости от конкретных условий могут быть применены такие способы, как уменьшение количества радиоактивных веществ, удаляемых в канализацию путем усовершенствования технологического процесса и дезактивации сточных вод.

При малом объеме слабоактивных жидких отходов и наличии больших количеств обычных сточных вод представляется возможным уменьшить удельную активность за счет разбавления в канализационной системе, т. е. в подобных случаях допустимо удаление жидких радиоактивных отходов из ряда учреждений без всякой предварительной обработки. Однако при любых случаях удельная активность сточных вод у места выпуска их в водоем не должна превышать предельно допустимых концентраций, установленных для воды водоемов. Эта предосторожность является необходимой в силу того, что процесс разбавления загрязненных струй в водоемах происходит на более или менее значительном расстоянии от места выпуска сточных вод, нередко измеряемом десятками километров. В этих пределах из-за неизбежной аккумуляции радиоактивных веществ дном и тканями гидробионтов создаются условия для передачи относительно больших количеств указанных веществ из водоема в организм человека по пищевым цепям.

Рассматривая различные методы обезвреживания радиоактивных сточных вод, нельзя не коснуться почвенных методов дезактивации с одновременным удалением жидкости в грунт. Как следует из суммарного отчета Объединенного комитета по атомной защите США (1959), на некоторых предприятиях атомной промышленности США в Хэнфорде, на р. Саванне, практикуется удаление слабоактивных сточных вод в болота, искусственные земляные бассейны и т. п., откуда происходит

фильтрация их в грунт. Некоторыми зарубежными авторами даже даны нормы нагрузки на единицу площади [Браун и др. (1955)].

Однако применение подобного метода для обезвреживания радиоактивных сточных вод, с гигиенической точки зрения, не выдерживает критики, так как при этом неизбежно загрязнение значительных участков территории за счет рассеивания радиоактивных веществ из подобных водоемов и передача их по пищевым цепям в организм человека.

Вместе с тем, учитывая огромную сорбционную способность грунтов, нам представляется в принципе возможным для дезактивации ограниченных объемов сточных вод (десятки кубических метров в сутки), содержащих радиоактивные вещества с небольшим периодом полураспада (например, фосфор-32), использование системы подземного орошения. Однако подобная система может быть применена лишь при наличии благоприятных санитарных и гидрогеологических условий, исключающих возможность загрязнения подземных вод и наземных растений. Для уточнения ряда вопросов, связанных с использованием данного метода, необходимо проведение соответствующих наблюдений на действующих установках.

Большое внимание за рубежом уделяется попыткам обезвреживания радиоактивных сточных вод путем удаления их через различного рода поглощающие колодцы [Геммелл (1955); Браун, Паркер, Смит (1955)]. Так, согласно данным упомянутых авторов, удаление значительного количества промышленных сточных вод в поглощающие колодцы не отразилось на санитарном состоянии района. Однако, как следует из сообщения, сделанного делегацией США на конференции в Монте-Карло (1959), спустя несколько лет после начала эксплуатации заметные загрязнения радиоактивными веществами подземных вод в данном районе обнаружены уже в радиусе около 6 км от места их спуска.

Подобная картина в меньших масштабах была установлена исследованиями А. С. Белицкого и Е. И. Орловой (1959 и 1960), показавшими на экспериментальной установке в полевых условиях характер и дальность распространения радиоактивного стронция в грунтовом потоке, приуроченном к пескам, а также наблюдениями за миграцией смеси продуктов деления в подземных водах, где дальность распространения от источника загрязнения превышала 3 км.

Сложность проблемы обезвреживания радиоактивных отходов и наличие в ней ряда нерешенных вопросов говорят о необходимости более широкого развертывания работ в данной области с тем, чтобы полностью устранить возможность загрязнения внешней среды радиоактивными веществами и их воздействия на здоровье человека.

ЛИТЕРАТУРА

- Блохинцев Д. И., Николаев Н. А. В кн.: Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. М., 1955, т. 56. — Броудер Ф. Н. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955. — Wilson W. L., White P. A., Milton J. G., J. Brit. Nuclear Energy Conference, 1956, v. 1, p. 149. — Гейер, Мак-Меррей, Толбойс и др. В кн.: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. М., 1958, т. 9, стр. 33. — Gemmell L. В кн.: Гигиенические вопросы противоатомной защиты. М., 1955, стр. 109. — Иден, Элкинс, Трусдейл. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955. — Калмон С. В кн.: Ионный обмен. М., 1951, стр. 107. — Lauderdale P. A. В кн.: Гигиенические вопросы противоатомной защиты. М., 1955, стр. 87. — Лири Дж. А., Кларк Р. Н., Хеммонд Р. П. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955. — Love S. K., White W. F., Industr. Eng. Chem., 1956, v. 48, p. 1248. — Лейси У. Жд. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955. — Либерман Д. А., Гормон А. Е. Там же. — Morton R. J., Straub C. P., J. Am. Water Works Ass., 1956, v. 48, p. 548. — Мак Келлох Г. Н. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955. — Rodger W. A., Fineman P., Nucleonics, 1951, v. 9, N. 6, p. 51. — Idem, Chem. Eng. Progress, 1954, v. 59, p. 263. — Рейн А. В кн.: Ионный обмен. М., 1951, стр. 161. — Ruchhoff C. C., Sewage Works J., 1949, v. 21.

р. 877.—Рукхофт К. К., Сеттер Л. Р. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955.—Terrill J. G., Sewage a. Industr. Waster, 1958, v. 30, p. 270.—Хирш Г. И. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955.—Финч. Мед. радиол., 1956, № 4, стр. 89.—Фармер. Вopr. ядерной энергетики, 1957, № 3, стр. 47.—Straub C. P., Morton R. J., Placak O. R., J. Am. Warter Works Ass., 1951, v. 43, p. 773.—Эрс Д. А. В кн.: Удаление радиоактивных отходов. М., 1955.

Поступила 25/II 1960 г.



О ЗНАЧЕНИИ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ¹

Проф. Н. В. Лазарев

Из Военно-медицинской ордена Ленина академии имени С. М. Кирова
и токсикологической лаборатории Ленинградского института гигиены труда
и профессиональных заболеваний

Еще недавно казалось, что отравления играют сравнительно скромную роль в структуре заболеваемости и смертности, что исследования в области профилактики и терапии отравлений для большинства врачей имеют несравненно меньшее значение, чем новые данные по вопросам диагностики и терапии инфекционных заболеваний. Однако в результате огромного прогресса современной химии и производственного использования ее достижений как следствие вторжения самых разнообразных веществ во все сферы современной жизни — «от предприятий до кухни и ванной комнаты» [выражение Брунса (Brunns, 1958)] — место экзогенных химических воздействий в этиологии заболеваний необычайно возросло и требует пристального внимания.

Поучительны некоторые цифры, относящиеся к США. Количество торговых наименований химических продуктов, применяемых в промышленности, сельском хозяйстве, в быту и т. д., в США в настоящее время достигло почти астрономической цифры — около 250 000. Число косметических препаратов, в частности, оценивают в 70 000.

Если обратиться к статистике заболеваний и смертности, в особенности среди детей, то можно видеть, что инфекционные болезни потеряли свое первое место в соответствующих таблицах. Конечно, это результат больших достижений в области профилактики и терапии инфекционных заболеваний. Но пока что современная жизнь ставит нас лицом к лицу не всегда только с фактом понижения заболеваемости и смертности от самых разнообразных причин. Существуют и противоположные процессы. Появившаяся в 1958 г. книга Коллата (Kollath) носит вызывающее название «Болезни и причины смерти, обусловленные цивилизацией». Хотя книга производит впечатление не всегда достаточно научно выдержанной, следует отметить, что в ней содержится и немало интересных материалов. Любопытно, например, графики, из которых видно, что в то время как смертность от туберкулеза неизменно и круто снижается, столь же неуклонно растет число смертей в результате транспортных, в первую очередь автомобильных, катастроф. По сообщению Линдемана (Lindemann), в настоящее время первое место как причина смерти детей в США занимают несчастные случаи, причем среди детей в возрасте от 1 года до 6 лет 75% этих случаев происходит дома. Среди детей в возрасте от 1 года до 5 лет значитель-

¹ Из доклада на научной сессии Ленинградского института гигиены труда и профессиональных заболеваний 23 января 1959 г.