

Янин Е.П. Особенности обращения с ртутьсодержащими отходами в зарубежных странах // Экологическая экспертиза, 2014, № 1, с. 16–77.

Введение

1. Западная Европа

1.1. Европейская практика обращения с отходами (общие подходы и решения)

1.2. Особенности практического обращения с отходами в странах ЕС

2. Принципы обращения с ртутьсодержащими отходами в США

3. Обращение с ртутьсодержащими отходами в других странах мира

4. Способы переработки и обезвреживания ртутьсодержащих отходов

4.1. Термические способы

4.2. Технологии иммобилизации ртутьсодержащих отходов

4.3. Гидрометаллургические способы

4.4. Другие способы

4. Использование ртутьсодержащих отходов и материалов в сельском хозяйстве в качестве агроメリорантов

Заключение

Литература

Введение

На парламентских слушаниях «Проблемы нормативно-правового обеспечения обращения с отходами производства и потребления в Российской Федерации», состоявшихся 11 ноября 2004 г., ситуация в сфере обращения с отходами в России была признана крайне неблагоприятной [10]. Отмечено, что основными причинами неблагоприятного положения в области обращения с отходами в России являются:

1) Неопределенность, противоречивость существующей законодательной базы. Российская законодательная (нормативно-правовая) база в сфере обращения отходов развита явно недостаточно; многие нормативные документы нередко противоречат друг другу или содержат неопределенности в отношении утилизации (переработки, обезвреживания) тех или иных видов отходов; до сих пор не разработаны экологические и гигиенические критерии отнесения отходов к категории опасных. Отсутствуют работоспособные правовые механизмы, которые бы сделали сбор, утилизацию и обезвреживание отходов обязательными процедурами, а также более выгодными, чем, например, их простое накопление и складирование; у предприятий нет стимула внедрять малоотходные технологии производства и использовать отходы в качестве вторичного сырья и т. д.

2) Отсутствие общей концепции и единой государственной политики управления потоками отходов. Это создает серьезные управленческие проблемы, чрезвычайно затрудняет принятие правильных решений, исполнение уже существующих законов и иных нормативно-правовых актов и нередко определяет финансирование в области обращения с опасными отходами «по остаточному принципу».

3) Отсутствие эффективной организационной системы обращения с отходами. В России отдельные функции по организации деятельности по обращению с отходами распределены между различными органами (структурами) управления федерального, регионального, муниципального уровней. Это не позволяет должным образом регулировать и контролировать все механизмы и этапы движения отходов от источника через перевозку к пунктам хранения, захоронения, переработки, обезвреживания.

4) Недостаточное развитие инженерной инфраструктуры. В России ощущается резкая нехватка обустроенных полигонов и (особенно) соответствующих технологий и предприятий для обезвреживания (переработки) отходов. Используемые ныне технологии по переработке отходов нередко направлены лишь на снижение их класса опасности, а не на полное обезврежива-

ние; полученные промпродукты при этом не вовлекаются во вторичный оборот, а вывозятся на свалки или в места временного хранения.

Главный вывод парламентских слушаний «Проблемы нормативно-правового обеспечения обращения с отходами производства и потребления в Российской Федерации» заключается в следующем: в настоящее время в России единая система управления отходами практически отсутствует; в лучшем случае, можно сказать, что такая система находится в начальной стадии своего формирования. Этот вывод в существенной мере относится и к сфере обращения с ртутьсодержащими отходами (РСО) производства и потребления [3, 4, 16, 17, 20, 21, 22, 27]. В то же время в целом ряде зарубежных стран существуют достаточно четко обоснованные принципы обращения с различными отходами, включая РСО, и функционируют соответствующие системы их учета, оценки, сбора, переработки и(или) безопасного размещения [11, 18, 19, 23, 24, 25, 26]. Широко развита раздельная (селективная) система сбора отходов [7, 14]. Можно считать, что в этих странах, в сущности, возникла новая отрасль хозяйства – управление отходами. Например, только в странах ЕС оборот данной отрасли в 2005 г. составил почти 100 млрд. евро, а количество созданных рабочих мест – почти 3,5 млн. [48]. Опыт зарубежных стран в области обращения с РСО будет, безусловно, полезен отечественным специалистам.

1. Западная Европа

Ежегодно в странах-членах Европейского Союза образуется ~1,3 млрд. т отходов, т. е. ~3,5 т на каждого жителя [7]. Это количество включает муниципальные, промышленные и другие виды отходов, за исключением сельскохозяйственных (масса которых достигает 700 млн. т/год [1]). В общем объеме отходов, образующихся в ЕС, выделяют пять основных их потоков:

- промышленные отходы (26%),
- отходы горнодобывающей промышленности (29%),
- строительные отходы (22%),
- твердые бытовые отходы (14%).

Примерно 27 млн. т (2%) относятся к категории опасных отходов, причем около 1,5 млн. т опасных отходов ежегодно образуется в бытовом секторе (табл. 1). По данным [1], количество опасных отходов, образующихся в ЕС, составляет около 40 млн. т/год.

Таблица 1

Оценка количества опасных бытовых отходов в странах ЕС [53]

Страна	Год	Образование, т	На душу населения, кг/год	Доля от всех ТБО *, %
Австрия	1998	23000–26000	2,8–3,2	0,8–0,9
Бельгия	2000	46300	3,8	1
Дания	2000	13600	2,5	0,8
Финляндия	1999	27000	5,3	1,1
Франция	2000	260000	4,5	1,2
Германия	1997	390000	4,7	1
Греция	1999	4500	0,4	0,12
Ирландия	1998	6800	1,8	0,5
Италия	1997	254000	4,4	1
Люксембург	2000	2100	5,3	1
Нидерланды	2000	35200	2,3	0,4
Португалия	1998	39000	3,9	1,1
Испания	1997	143000	3,6	1
Швеция	1999	38000	4,3	1
Великобритания	1999	252000	4,2	0,9
Все 15 стран		~1500000		
Венгрия	1998	17200	1,7	0,7

* Твердые бытовые отходы (муниципальные отходы).

Общее количество ртути, которое в 1995 г. присутствовало в отходах (включая продукты сжигания угля, свалки, отходы хлорно-щелочного производства, шлаки сжигания) в странах ЕС, оценивалось примерно в 900 т (рис. 1) [43].

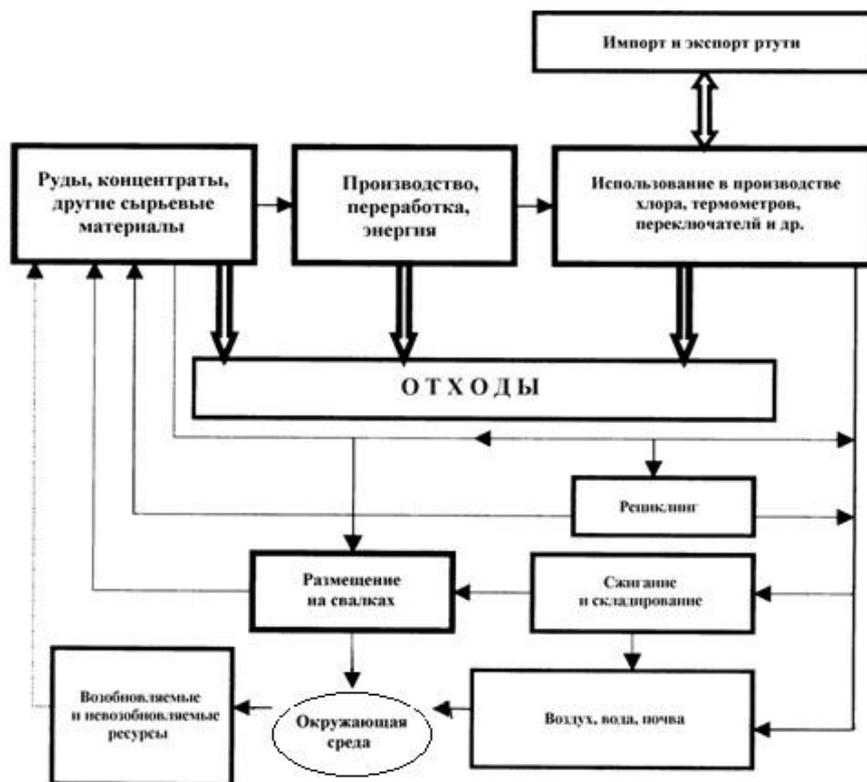


Рис. 1. Модель потоков ртути в отходах в ЕС [28].

1.1. Европейская практика обращения с отходами (общие подходы и решения)

Общие установки Европейского Союза по вопросам экологии и рационального использования природных ресурсов (к которым относится и обращение с отходами) были изложены уже в так называемом Римском договоре (Договор от 25 марта 1957 г., учреждающий Европейское Сообщество) в разделе «Окружающая Среда». Согласно этому Договору, деятельность Сообщества в отношении окружающей среды имеет целью: 1) сохранять, защищать и улучшать состояние окружающей среды; 2) вносить вклад в защиту здоровья людей; 3) добиваться разумного и рационального использования природных ресурсов; 4) содействовать на международном уровне мерам, относящимся к региональным и общемировым проблемам защиты окружающей среды. В Договоре также отмечено, что политика Сообщества в области окружающей среды имеет целью достижение высокого уровня ее защиты, принимая во внимание разнообразие ситуаций в различных регионах Сообщества. Она базируется на принципах предосторожности и превентивных действий, устранения источников ущерба окружающей среде и возмещения ущерба «загрязнителем». При выработке Программы действий в области окружающей среды Сообщество учитывает: 1) полученные научные и технические данные; 2) состояние окружающей среды в различных регионах Сообщества; 3) потенциальные выгоды и затраты, которые могут явиться результатом действий или их отсутствия; 4) экономическое и социальное развитие Сообщества в целом и сбалансированное развитие его регионов. В дальнейшем указанные положения Договора получили развитие в различных нормативно-правовых актах общеевро-

пейского законодательства, регулирующих вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. В итоге сформировался целый пласт документов, выделившийся в отдельную область права – европейское экологическое право, которое охватывает многие аспекты взаимодействия человека и окружающей среды.

В настоящее время в рамках указанной области права процессы образования, учета, переработки и утилизации отходов регулируются в ЕС целым рядом документов, которые можно разделить на три большие группы [7]:

1) Программные документы («Action Programmes», т. е. «Программы действий»), которые имеют рамочный характер и определяют основные цели в соответствующей области для стран-членов ЕС на среднесрочную и/или долгосрочную перспективу (как правило, от 3 до 5 лет, хотя могут охватывать период и до 10 лет).

2) Нормативные документы (договоры, директивы, правила, нормативы и т.п.) – как правило, обязательны для исполнения странами-членами ЕС. Они могут носить как рамочный характер (например, Рамочная директива по отходам), так и касаться решения конкретных задач (регулирование допустимых норм выбросов от мусоросжигающих заводов, технологии конечной утилизации отходов на полигонах и т. д.).

3) Различные коммюнике, решения тех или иных органов ЕС (например, Европейского Суда) и другие документы, которыми страны-члены Союза могут руководствоваться при разработке собственной политики по вопросам ресурсопотребления и обращения с отходами.

Обычно страны-члены ЕС при разработке собственного законодательства в области окружающей среды и использования природных ресурсов в той или иной степени ориентируются на соответствующие положения этих документов.

Рассмотрим основные законодательные и нормативные правовые акты ЕС в сфере управления отходами.

Рамочная Директива по отходам 75/442/ЕЕС (с учетом поправок), принятая 15 июля 1975 г. (*Council Directive of 15 July 1975 on waste, 75/442/EEC*) решением Европейского Совета, включает 21 статью и носит основополагающий характер как для современного законодательства ЕС об отходах, так и для национальных законодательств государств-членов ЕС в этой сфере. (Позже в Директиву был внесен ряд изменений и дополнений, касающихся, в основном, перечня веществ, материалов и предметов, которые могут быть отнесены к отходам. В новой редакции Директива действовала с 1991 г. по 2006 г., когда в ЕС была принята новая Рамочная Директива по отходам – см. ниже.)

В преамбуле Рамочной Директивы отмечается, что главная цель всех положений, касающихся отходов, должна сводиться к защите здоровья людей и окружающей среды от вредного влияния накопления, транспортировки, переработки, хранения и размещения отходов на свалках.

В Директиве установлена иерархия управления отходами, рекомендованная к использованию всеми странами-членами ЕС. Она базируется на трех принципах управления отходами:

1. *Предотвращение образования либо уменьшение количества отходов, а также снижение их токсичности.* Этот принцип является ключевым в любой стратегии управления отходами. Предотвращение образования отходов тесно связано с усовершенствованием технологий производства, а также с воздействием на потребителей, которые должны требовать более экологически безопасную продукцию, например, с меньшим количеством упаковки. В свою очередь, если можно уменьшить количество производимых отходов и снизить их токсичность за счет сокращения опасных составляющих в конечном продукте, то утилизация отходов автоматически станет более простой.

2. *Переработка и повторное использование отходов, включая их использование в качестве источников энергии.* Если образование отходов нельзя предотвратить, то следует использовать как можно больше материалов повторно (в основном путем вторичной переработки отходов). Европейская Комиссия определила несколько специфических «потоков отходов», кото-

рым следует уделить особое внимание с целью снижения их общего негативного экологического влияния. Это: отходы упаковки, вышедшие из строя транспортные средства, батарейки, электрические и электронные отходы. Сегодня ЕС требует от стран-членов принимать законодательные акты по сбору отходов, их повторному использованию, переработке и утилизации.

3. *Усовершенствование технологий окончательной утилизации отходов и мониторинга.* В тех случаях, если это возможно, отходы, которые не могут быть переработаны или использованы повторно, должны быть сожжены; захоронение их на полигонах должно применяться как последняя из возможных альтернатив. Оба этих способа утилизации отходов нуждаются в тщательном контроле (мониторинге) из-за своей потенциальной опасности для окружающей среды. ЕС принял Директиву, устанавливающую строгие требования к управлению полигонами, которая налагает запрет на захоронение некоторых видов отходов и устанавливает целевые показатели по снижению объемов захораниваемых на полигонах (свалках) отходов, разлагающихся естественным путем. Еще одна недавно принятая Директива устанавливает строгие границы уровня выбросов вредных веществ при сжигании отходов.

Рамочная Директива по отходам 75/442/ЕЕС обозначила важнейшие направления деятельности государств-членов ЕС и обязанности государственных органов, производителей и/или владельцев отходов, в том числе, например, по принятию мер стимулирования предотвращения или снижения образования отходов и их вредного воздействия путем:

- разработки чистых технологий с экономным использованием природных ресурсов;
- технической разработки и продажи изделий, сконструированных таким образом, чтобы по технологии изготовления, использования и удаления по завершении эксплуатации они не способствовали или минимально способствовали увеличению степени вредности отходов и опасности загрязнения среды;
- разработки соответствующих способов удаления опасных для здоровья веществ, содержащихся в утилизируемых отходах;
- утилизации отходов посредством переработки, вторичного использования, восстановления или любого другого процесса, предусматривающего извлечение вторичного сырья или использования отходов в качестве источника энергии.

Директива предписывает странам-членам ЕС запретить несанкционированное складирование, захоронение и утилизацию отходов. Для обращения с отходами предполагается создание международной сети специализированных предприятий с использованием эффективных и безопасных технологий переработки и утилизации отходов. Эти предприятия могут иметь разную форму собственности, в т. ч. принадлежать частным владельцам, но все они должны получить разрешение на обращение с отходами у соответствующих национальных или международных организаций. В соответствии с Директивой, расходы по утилизации отходов должны нести лица или организации, эти отходы производящие, реализуя на практике принцип «загрязнитель платит». Директива предполагает также создание национальных планов по управлению отходами в странах-членах ЕС.

При разработке планов и стратегий обращения с отходами законодательство ЕС предписывает руководствоваться «иерархией отходов», представленной в Рамочной Директиве по отходам. В сущности, иерархия управления отходами представляет собой универсальную модель обращения с любым видом отходов, типизирующая действия с ними по степени их приоритетности и построена на следующих принципах (рис. 2):

- 1) предотвращение или снижение образования отходов;
- 2) разделение отходов у источника их образования;
- 3) вторичное использование отходов путем возврата в производственный процесс;
- 4) рециклинг – обработка отходов с целью получения из них новых видов сырья или продукции;
- 5) обезвреживание отходов с целью снижения их опасности для природной среды;
- 6) захоронение отходов – наименее предпочтительная альтернатива управления отходами.

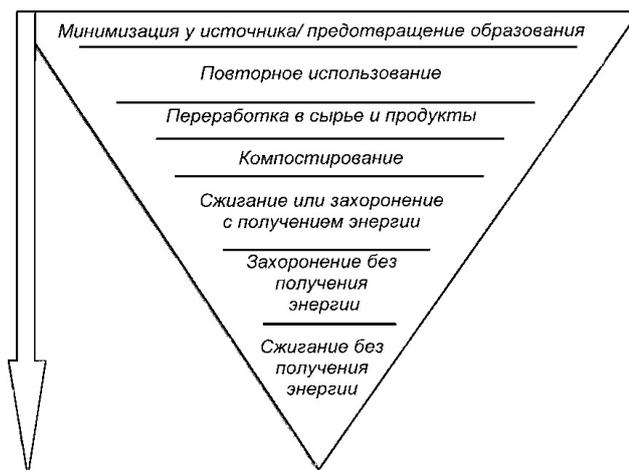


Рис. 2. Иерархия управления отходами.

Согласно данному подходу, наиболее предпочтительной альтернативой является предотвращение образования отходов или минимизация их образования у источника, т. е. действия, направленные на:

- уменьшение количества предметов и материалов, отправляемых на окончательную утилизацию/ захоронение;
- отказ от излишней упаковки;
- закупки только необходимого количества предметов и материалов;
- использование предметов многоразового/ длительного пользования взамен одноразового там, где это возможно.

Принципы иерархии управления отходами были закреплены на Международной конференции по устойчивому развитию в Йоханнесбурге в сентябре 2002 г., на которой совершенствование системы управления отходами было признано главной проблемой в области охраны окружающей среды. На конференции также было подчеркнуто, что основной стратегической целью мирового сообщества на пути к устойчивому развитию является разрушение связи между экономическим ростом, использованием ресурсов и образованием отходов.

В европейской практике обращения с отходами предотвращение и минимизация отходов предполагают также действия по снижению их токсичности (опасности). Обычно эти действия подразумевают изменение производственного процесса (использование менее токсичных исходных ресурсов, отказ или минимальное использование токсичных материалов для обработки исходного сырья и т. п.). Снижение токсичности продуктов и материалов делает их повторное использование либо вторичную переработку более привлекательными и рентабельными, поскольку предполагает полное отсутствие или минимизацию затрат на утилизацию токсичных (опасных) компонентов таких продуктов и материалов, а также значительно сокращает негативное влияние на окружающую среду.

Директива № 91/689/ЕЭС (Directive 91/689/EEC on hazardous waste) от 12 декабря 1991 г. об опасных отходах (дополненная Директивой № 94/31/ЕС от 27 июня 1994 г.) устанавливает нормативную базу ЕС в части управления опасными отходами.

Определение «отходы» и прочие термины, используемые в данной Директиве, идентичны определениям в Рамочной Директиве 75/442/ЕЕС.

Для целей Директивы № 91/689/ЕЭС «опасные отходы» означают:

- Отходы, перечисленные в списке, составляемом согласно процедуре, изложенной в Статье 18 Директивы 75/442/ЕЕС на основе Приложений I и II к данной Директиве, не позднее, чем за 6 месяцев до даты имплементации данной Директивы. Эти отходы должны обладать хотя бы одним из свойств, перечисленных в Приложении III.

- Любые другие отходы, которые, по мнению государства-члена ЕС, обладают любым из свойств, перечисленных в Приложении III. О таких случаях необходимо уведомлять Комиссию ЕС. Подобные случаи должны рассматриваться в соответствии с процедурой, изложенной в Статье 18 Директивы 75/442/ЕЕС с целью корректировки списка опасных веществ.

В группу опасных отходов включены отходы, содержащие ртуть, и соединения ртути.

В преамбуле Директивы подчеркивается, что надлежащее управление опасными отходами требует принятия дополнительных, более жестких мер, которые должны учитывать специфику данного вида отходов. Именно эта Директива содержит принципиальные нормы, которые были включены в национальное законодательство государств-членов ЕС:

- организация системы идентификации и учета опасных отходов на каждом полигоне для их размещения (в дальнейшем эта норма была развита в специальной директиве);

- запрет смешивания различных категорий опасных отходов (в том числе опасных отходов с неопасными), а если такое смешение произошло, то необходимо их разделить, что целесообразно с технической и экономической точек зрения (этот, в частности, и определяет необходимость раздельного сбора и утилизации, например, РСО);

- установление минимального срока сохранения документов их учета (3 года), по требованию компетентного органа предоставление документального подтверждения наличия системы управления отходами;

- упаковка и маркировка опасных отходов в процессе сбора, транспортировки и временного хранения в соответствии с существующими международными и европейскими стандартами;

- составление компетентными органами отдельно или в рамках общих планов управления отходами специальных планов по управлению опасными отходами, обеспечение свободного доступа к ним представителей общественности.

Особое значение имеют приложения к этой Директиве, представляющие собой в систематизированном виде общеевропейскую классификацию опасных отходов. В странах ЕС отходы (в отличие от России) не разделяются по классам опасности, их в зависимости от свойств составляющих веществ подразделяют на виды:

- виды 1–18 (Приложение IA) – отходы, обладающие любыми свойствами отходов из Приложения III;

- виды 19–40 (Приложение IB) – отходы, содержащие любые компоненты из Приложения II (всего этих компонентов 51, они обозначаются буквой С) и имеют любые свойства отходов из Приложения III (этих свойств 14, они обозначаются буквой Н, еще их называют Н-критериями).

Например, критерий Н14 «Экотоксичные» – субстанции и препараты, которые представляют или могут представлять немедленную или отсроченную опасность минимум для одного компонента окружающей среды.

Директива Европейского Совета 96/61/ЕС по интегрированному предотвращению загрязнений и контролю над ними, принятая 24 сентября 1996 г., устанавливает перечень экологических требований для промышленных предприятий, которые последние должны выполнять, чтобы получить разрешение на свою деятельность. Страны-члены ЕС обязуются предпринять необходимые меры для того, чтобы через соответствующие компетентные органы власти гарантировать, что в ходе своей деятельности все предприятия:

а) предпринимают все необходимые предупредительные меры по предотвращению загрязнения окружающей среды, в частности, путем применения лучших существующих технологий;

б) не производят значительного загрязнения окружающей среды;

в) предотвращают образование отходов в соответствии с Рамочной Директивой по отходам;

г) перерабатывают отходы или, если это невозможно по техническим или экономическим причинам, утилизируют их, но с минимальным ущербом для окружающей среды.

Директива № 99/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. о полигонах захоронения отходов определяет меры и процедуры предотвращения и/или минимизации негативного влияния на окружающую среду и снижения риска для здоровья человека, возникающего при захоронении отходов. Согласно требованиям данной Директивы, страны-члены ЕС должны предпринять целый ряд мер по обработке отходов перед их захоронением, по разделению и отдельной переработке опасных и безопасных отходов, по осуществлению контроля над полигонами в ходе их эксплуатации и после закрытия. Данные действия осуществляются на основе принципа «загрязнитель платит».

В Директиве также определяются:

- требования к различным видам отходов, поступающим на полигоны;
- классификация полигонов в зависимости от захораниваемых отходов;
- порядок обращения с опасными отходами;
- условия технической эксплуатации полигонов;
- порядок получения разрешений на открытие новых полигонов.

В Европе (как и в России) требуется получение разрешения для функционирования полигона. В этих целях предусмотрены список сведений, которые требуется приложить к заявке на получение разрешения, условия получения разрешения, минимальные требования к содержанию разрешения, обязанности оператора на стадии эксплуатации полигона в части осуществления контроля и мониторинга, а также обязательного уведомления компетентных органов о любых существенных неблагоприятных воздействиях на окружающую среду. В Европе полигоны разделены Директивой на три класса: для опасных отходов (1-й класс), неопасных (2-й класс) и инертных (3-й класс). В Директиве прописаны обязательные части процедуры приема отходов на тот или иной полигон:

- проверка документации на отходы;
- визуальный осмотр отходов «на входе и в месте размещения» с обязательной сверкой содержимого с прилагаемой документацией, представленной владельцем;
- ведение реестра количества и характеристик отходов с указанием их происхождения, даты поставки, идентификации производителя (сборщика в случае муниципальных отходов) и точного места размещения на полигоне (для опасных отходов);
- письменное подтверждение получения каждой принятой доставки.

В Директиве определено, какие отходы не должны приниматься для захоронения на полигонах, при этом запрещено смешивание отходов с целью достижения критериев приема. Директива также содержит весьма жесткие требования к процедуре закрытия и рекультивации полигонов. Так, полигон по захоронению отходов может рассматриваться как закрытый только после выполнения компетентным органом заключительного осмотра на местности. После закрытия полигона (прекращения приема отходов) оператор несет ответственность за его обслуживание, осуществление контроля и мониторинга «так долго, как может быть потребовано уполномоченными органами, принимая во внимание время, в течение которого полигон может представлять опасность».

Директива 2000/76/ЕС Европейского Парламента и Европейского Совета по сжиганию отходов, принятая 4 декабря 2000 г. Главной целью данной Директивы является предотвращение или ограничение негативного влияния на окружающую среду, оказываемого, в частности вредными выбросами в атмосферу, сбросами в почву, поверхностные и грунтовые воды, которые также могут нанести вред здоровью людей и которые образуются в процессе сжигания отходов. Для достижения этой цели Директивой устанавливаются предельно допустимые нормы выбросов для мусоросжигающих заводов и когенерационных установок. В частности, заводы и установки должны разрабатываться, оборудоваться, строиться и использоваться таким образом, чтобы выбросы в воздух загрязняющих веществ не превышали указанные в Приложении V лимиты. Так, норматив на выброс ртути в атмосферу составляет $0,05 \text{ мг/м}^3$ (среднее значение за период от 30 мин. до 8 час.). Наличие таких приложений выгодно отличает европейские за-

конодательные акты от российских актов, где предельно допустимые нормативы выбросов (сбросов) устанавливаются на подзаконном (ведомственном) уровне. Директива также подробно регулирует вопросы использования теплоты, генерируемой в процессе сжигания отходов, утилизации остатков, полученных в результате сжигания, принятия опасных отходов на сжигание, предотвращения или уменьшения неприятного запаха и шума, контроля, мониторинга и др.

Шестая программа действий ЕС в области окружающей среды (6-я Экологическая программа), одобренная решением Европейского Парламента и Европейского Совета № 1600/2002/ЕС от 22 июля 2002 г. Программа определяет основные цели и задачи деятельности стран-членов ЕС в области охраны окружающей среды на период 10 лет (2002–2012 гг.).

Она определяет четыре приоритета в области охраны окружающей среды:

- изменение климата;
- природа и биоразнообразие;
- экология, здоровье и качество жизни;
- природные ресурсы и отходы.

В рамках этих приоритетов предполагается разработка так называемых «тематических стратегий», которые должны включать описание комплекса мер, необходимых для решения основных проблем в приоритетных областях. На основе этих стратегий в дальнейшем будут приняты соответствующие нормативные акты, обязательные для исполнения в странах ЕС. Программа предполагает сократить количество отходов, подлежащих «окончательному захоронению» на 20% с 2000 до 2010 г. и на 50% к 2050 г., причем основное внимание уделено сокращению опасных отходов. В Программе также предусмотрена масштабная ревизия европейского законодательства об отходах в части его адаптации к научно-техническому прогрессу, включая нормы о сжигании отходов, их перевозке, пояснение различий между отходами и теми веществами, которые не являются ими, а также развитие адекватных критериев для обновления классификации отходов. Особо отмечается, что управление отходами – одна из важнейших составляющих системы обеспечения экологической безопасности территории.

Директива 2006/12/ЕС Европейского парламента и Совета ЕС от 5 апреля 2006 г. об управлении отходами (*Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste*), которая поглощает и заменяет Директиву 75/442/ЕЕС, действовавшую в новой редакции с 1991 г. Принятие данной Директивы (новой Рамочной Директивы об отходах) нацелено на прояснение и рационализацию законов об отходах, но она, в сущности, кардинально не меняет содержания уже применяемых правил.

В преамбуле Директивы 2006/12/ЕС особо отмечено следующее:

- Важной целью всех положений, относящихся к управлению отходами, должна стать защита здоровья человека и окружающей среды от вредных воздействий, вызываемых сбором, транспортированием, переработкой, хранением и удалением отходов.

- Необходимы общая терминология и определение отходов, для того чтобы повысить эффективность управления отходами в ЕС.

- Должны применяться эффективные и последовательные правила по размещению и утилизации отходов, допуская определенные исключения, к движимому имуществу, от которого владелец избавляется или намерен или нуждается в избавлении.

- Утилизация отходов и использование утилизированных материалов в качестве сырья должны поощряться (для того чтобы экономить природные ресурсы). Может появиться необходимость в принятии специальных правил для вторично используемых отходов.

- Для того чтобы достичь высокого уровня защиты окружающей среды, государства-члены ЕС должны в дополнение к принятию ответственных действий для обеспечения размещения и утилизации отходов осуществлять меры по ограничению образования отходов, особенно путем содействия чистым технологиям и продуктам, которые можно подвергать рециклингу и вторичному использованию, с учетом существующих или потенциальных возможностей рынка для утилизируемых отходов.

- Важно для ЕС в целом стать независимым в размещении отходов и желательно для каждого государства-члена стремиться к такой независимости, что определяет необходимость составления планов управления отходами.

- Перемещение отходов должно быть уменьшено, и государства-члены могут предпринять необходимые меры с этой целью в своих планах управления отходами.

- Для обеспечения высокого уровня защиты и эффективного контроля необходимо предусматривать выдачу разрешений и инспектирование предприятий, которые проводят размещение и утилизацию отходов.

- С учетом определенных условий и предполагая, что они соответствуют требованиям защиты окружающей среды, некоторые организации, которые перерабатывают свои отходы сами или осуществляют утилизацию отходов, могут быть освобождены от требований получения разрешения. Такие организации должны подвергаться регистрации.

- Для того чтобы отходы можно было контролировать от их образования до конечного размещения, другие предприятия, вовлеченные в обращение с отходами (сборщики отходов, перевозчики и посредники) также должны получать специальное разрешение или регистрироваться в соответствующей инспекции.

- Та часть затрат, которая не охвачена в процессе обращения с отходами, должна оплачиваться в соответствии с принципом «загрязнитель платит».

Из области действия данной Директивы исключены:

а) газообразные сбросы, выпускаемые в атмосферу;

б) отходы, охваченные другим законодательством: радиоактивные отходы; отходы, являющиеся результатом разведки, добычи, переработки и хранения минерального сырья и разработки карьеров; туши животных и следующие сельскохозяйственные отходы: фекалии и другие природные неопасные вещества, используемые в сельском хозяйстве; сточные воды, за исключением отходов в жидкой форме; вышедшие из эксплуатации взрывчатые вещества.

Государства-члены ЕС должны предпринять соответствующие меры для содействия:

- предотвращению или уменьшению образования отходов и их вредности: с помощью развития «чистых технологий», более экономных в использовании природных ресурсов; с помощью технического развития и маркетинга продуктов, сконструированных так, чтобы не содействовать или сделать минимально возможный вклад за счет типа их производства, использования или размещения, в увеличение количества или вредности отходов и опасности загрязнения; с помощью разработки соответствующих способов для конечного размещения опасных веществ, содержащихся в отходах, предназначенных для утилизации.

- утилизации отходов с помощью рециклинга, вторичного использования или переработки либо любого другого процесса с точки зрения извлечения вторичного сырья или использования отходов в качестве источника энергии.

- для обеспечения того, чтобы отходы утилизировались или размещались без причинения вреда здоровью человека и без использования процессов или методов, которые могут быть вредными для окружающей среды, предпринять необходимые меры для запрещения оставления, сбрасывания или неконтролируемого размещения отходов;

Кроме того, государства-члены ЕС должны установить или назначить компетентный орган или органы, которые должны быть ответственными за выполнение этой Директивы, а также разработать соответствующие планы управления отходами.

Эти планы, в частности, должны относиться: а) к типу, количеству и происхождению отходов, которые должны утилизироваться или размещаться; б) к общим техническим требованиям; в) к любым специальным схемам для отдельных видов отходов; г) к подходящим участкам размещения или установкам. Планы могут охватывать: а) физических или юридических лиц, которым поручено осуществлять управление отходами; б) оцениваемые затраты на операции по утилизации и размещению отходов; в) соответствующие меры для содействия усовершенствованию сбора, сортировки и переработки отходов.

Государства-члены должны предпринять необходимые меры для обеспечения того, чтобы любой владелец отходов: а) обращался к частному или государственному сборщику отходов или предприятию, которое осуществляет операции, перечисленные в Приложении II А или II В; б) утилизировал или размещал отходы сам в соответствии с положениями этой Директивы.

Любая организация или предприятие, которое осуществляет операции, определенные в Приложении II А, должно получить разрешение от компетентного органа, которое охватывает: а) типы и количества отходов; б) технические требования; в) предпринимаемые меры предосторожности; г) участок размещения отходов; д) метод переработки. Разрешения могут быть даны на определенный период, они могут быть возобновлены, они могут быть предметом условий и обязательств, или, если предполагаемый метод размещения является неприемлемым с точки зрения защиты окружающей среды, в них может быть отказано. Организации или предприятия, которые собирают или транспортируют отходы на профессиональной основе или которые организуют размещение либо утилизацию отходов по поручению других (дилеров или посредников) должны, когда они не подвергаются требованию получения разрешения, быть зарегистрированы компетентными органами.

В соответствии с принципом «загрязнитель платит» затраты на размещение отходов должны нести: а) владелец отходов, с которыми обращается сборщик отходов или предприятие; б) предыдущие владельцы или производитель продукта, от которого поступили отходы.

Приложение 1 к Директиве содержит следующие категории отходов:

- Q1 Остатки производства или потребления, не определенные ниже иным образом.
- Q2 Продукты, отсутствующие в спецификации.
- Q3 Продукты, данные о соответствующем использовании которых устарели.
- Q4 Материалы, которые были пролиты, утеряны или подверглись воздействию другого несчастного случая, включая любые материалы, оборудование и т. д., загрязненные в результате несчастного случая.
- Q5 Материалы, загрязненные или запачканные в результате планируемых действий (например, остатки от операций чистки, упаковочные материалы, контейнеры и т. д.).
- Q6 Неиспользуемые части (например, признанные негодными батарейки, использованные катализаторы и т. д.).
- Q7 Вещества, которые больше не работают удовлетворительно (например, загрязненные кислоты, загрязненные растворители, использованные устаревшие соли и т. д.).
- Q8 Остатки промышленных процессов (например, шлаки, кубовые остатки).
- Q9 Остатки от процессов очистки загрязняющих веществ (например, осадки мокрой газоочистки, пыль рукавных фильтров, отработанные фильтры и т. д.).
- Q10 Остатки механической обработки (чистовой обработки) (например, токарная стружка, окалина после прокатных станов и т. д.).
- Q11 Остатки от добычи сырья и его переработки (например, остатки разработки месторождений, остатки от нефтяных месторождений и т. д.).
- Q12 Фальсифицированные материалы (например, нефтепродукты, загрязненные полихлорбифенилами и т. д.).
- Q13 Любые материалы, вещества или продукты, использование которых запрещено по закону.
- Q14 Продукты, которые владелец больше не использует (например, выброшенные из сельскохозяйственной сферы, домовладения, офиса, магазинов и т. д.).
- Q15 Загрязненные материалы, вещества или продукты, являющиеся результатом действий по очистке земли.
- Q1G Любые материалы, вещества или продукты, которые не содержатся в вышеупомянутых категориях.

Приложение IIА к Директиве включает операции размещения, которые применяются на практике:

- D1 Размещение в земле или на земле (например, полигон и т. д.).
 - D2 Обработка в земле (например, биологическое разложение жидких или илистых отходов в почве и т. д.).
 - D3 Инжекция в глубину (например, инъекция перекачиваемых насосом отходов в скважины, соляные своды или хранилища природного происхождения и т. д.).
 - D4 Сброс в поверхностные воды (например, размещение жидких или илистых отходов в ямах, прудах или отстойниках и т. д.).
 - D5 Специально сконструированный полигон (например, размещение в облицованных отдельных ячейках, которые изолированы друг от друга и окружающей среды и т. д.).
 - D6 Сброс в водный объект, за исключением морей (океанов).
 - D7 Сброс в моря (океаны), включая размещение на морском дне.
 - D8 Биологическая переработка, не определенная где-либо в этом Приложении, результатом которой являются конечные соединения или смеси, которые размещаются с помощью любой операции, пронумерованной от D1 до D7 и от D9 до D12.
 - D9 Физико-химическая переработка, не определенная где-либо в этом Приложении, результатом которой являются конечные соединения или смеси, которые размещаются с помощью любой операции, пронумерованной от D1 до D8 и от D10 до D12 (например, испарение, сушка, обжиг и т. д.).
 - D10 Сжигание на земле.
 - D11 Сжигание в море.
 - D12 Постоянное хранение (например, размещение контейнеров в руднике и т. д.).
 - D13 Смешивание или перемешивание перед направлением на любую операцию, пронумерованную от D1 до D12.
 - D14 Переупаковка перед направлением на любую операцию, пронумерованную от D1 до D13.
 - D15 Хранение до любой операции, пронумерованной от D1 до D14 (исключая временное хранение, до сбора, по месту, где образовались отходы).
- Приложение IIВ к Директиве включает перечень операций утилизации, которые происходят на практике:
- R1 Использование главным образом в качестве топлива или других средств для выработки энергии.
 - R2 Переработка (регенерация) растворителя.
 - R3 Рециклинг (переработка) органических веществ, которые не используются в качестве растворителей гелей (включая компостирование и другие процессы биологического преобразования).
 - R4 Рециклинг (переработка) металлов и металлических соединений.
 - R5 Рециклинг (переработка) других неорганических материалов.
 - R6 Регенерация кислот или оснований.
 - R7 Утилизация соединений, используемых для борьбы с загрязнениями.
 - R8 Утилизация соединений после катализа.
 - R9 Вторичная очистка нефтепродуктов или другие виды вторичного использования нефтепродуктов.
 - R10 Очистка земли, приводящая к выгоде для сельского хозяйства или к экологическим усовершенствованиям.
 - R11 Использование отходов, полученных при любой операции, пронумерованной от R 1 до R 10.
 - R12 Обмен отходами для направления на любую операцию, пронумерованную от R 1 до R 11.
 - R13 Хранение отходов до любой операции, пронумерованной от R 1 до R 12 (исключая временное хранение, до сбора, на участке, где они образовались).

Решение Европейской комиссии № 2000/532/ЕС от 3 мая 2000 г. об утверждении Европейского каталога отходов (*European Waste Catalogue – EWC*).

Этот Каталог государства-члены ЕС начали применять с 1 января 2002 г. В нем используются следующие коды [35, 56]:

- шестизначный – для наименования отходов;
- четырехзначный – для обозначения группы отходов;
- двухзначный – для так называемых заглавий (глав) списка.

Европейский каталог отходов включает следующие виды **ртутьсодержащих отходов**:

05 Отходы, образующиеся при очистке и транспортировке природного газа.

05 07 Отходы рафинирования нефти, очистки природного газа и пиролизической переработки угля.

05 07 01 *Отходы, содержащие ртуть.*

06 Отходы неорганических химических процессов.

06 04 Отходы, содержащие металлы.

06 04 04 *отходы, содержащие ртуть.*

06 07 Отходы химических процессов.

06 07 03 *Осадок сульфата бария, содержащий ртуть.*

10 Отходы температурных процессов.

10 14 Отходы крематориев.

10 14 01 *Отходы очистки газа, содержащие ртуть.*

16 Отходы, не указанный в других местах Каталога.

16 01 Отходы транспортных средств с выработанным ресурсом.

16 01 08 *Компоненты, содержащие ртуть.*

16 06 Батареи и аккумуляторы.

16 06 03 *Ртутьсодержащие батареи.*

17 Отходы строительства и сноса (включая изъятые загрязненные почвы).

17 09 Другие отходы от демонтажа зданий и конструкций.

17 09 01 *Отходы от демонтажа зданий и конструкций, содержащие ртуть.*

18 Отходы медицинские и ветеринарные

18 01 Отходы медицинские и ветеринарные и(или) имеющие отношение к исследованиям (за исключением кухонных и ресторанных отходов, не образующихся непосредственно при медицинском и ветеринарном обслуживании).

18 01 10 *Амальгамные отходы при стоматологическом обслуживании.*

20 Муниципальные отходы (бытовые отходы и подобные коммерческие, промышленные и институциональные отходы), включая отдельно собираемые фракции.

20 01 Раздельно собираемые фракции.

20 01 21 *Флуоресцентные трубки и другие ртутьсодержащие отходы.*

С 01.01.2003 г., согласно обновленному изданию Европейского каталога отходов, зола и шлак относятся к опасным отходам, если содержат более 0,25% (2500 мг/кг) ртути.

Следует напомнить, что в российском каталоге отходов (Федеральном классификационном каталоге отходов, утвержденный приказом МПР России от 2.12.2002 г. № 786 с изменениями, внесенными приказом от 30.07.2003 г. № 663) используется достаточно сложное и громоздкое 13-значное кодирование: первые восемь цифр – происхождение отхода; девятая и десятая – агрегатное состояние и физическая форма; одиннадцатая и двенадцатая – опасные свойства и их комбинации; тринадцатая цифра – класс опасности для окружающей природной среды. Не исключено, что необходимы пересмотр российского каталога отходов и упрощение принципов их кодирования с постепенным переходом на общеевропейский каталог.

Регламент ЕЭС № 259/93 от 1 февраля 1993 г. о надзоре и контроле перевозки отходов в пределах, при ввозе и вывозе из Европейского Сообщества. В России наиболее известны приложения к Регламенту, представляющие собой списки неопасных и опасных отхо-

дов, созданные на основе перечней, разработанных международной Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Списки представляют собой классификацию отходов, в том числе опасных, определяющие особенности их трансграничного перемещения. В частности, Приложение II содержит так называемый *зеленый список отходов*, в который включены неопасные отходы. Они имеют обозначение G (от англ. *green* – зеленый) и разбиты на 15 групп (обозначены буквами от A до O), внутри которых отходы имеют соответствующую цифровую нумерацию. Приложение III – *желтый (или янтарный) список отходов*, в который включены опасные отходы. Они имеют обозначение A (от англ. *amber* – желтый или янтарный) и разбиты на 4 группы (A, B, C, D), внутри которых отходы имеют соответствующую цифровую нумерацию. Приложение IV – *красный список отходов*, который также включает опасные отходы. Они имеют обозначение R (от англ. *red* – красный) и разбиты на 3 группы (A, B, C), внутри которых отходы имеют соответствующую цифровую нумерацию.

Данные списки основаны на материалах Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением от 22 марта 1989 г. Следует отметить, что уведомительно-разрешительный механизм, предусмотренный Регламентом и действующий в случае трансграничного перемещения отходов, не распространен на их перевозку внутри государств-членов ЕС. Однако последние должны установить надлежащую систему наблюдения и контроля перевозки отходов в пределах их юрисдикции. Когда лицо намеревается перевезти отходы, оно должно уведомить компетентный орган пункта назначения, послать копию извещения компетентным органам отгрузки и транзита, а также грузополучателю, снабдить груз сопроводительной информацией.

По получении уведомления компетентный орган пункта назначения должен:

- в течение 3 рабочих дней послать подтверждение уведомителю, а его копию другим заинтересованным компетентным органам и грузополучателю;
- в срок до 30 дней после отправки подтверждения принять решение, уполномочивающее отгрузку с условиями или без них или отказывающее в этом;
- запросить дополнительную информацию;
- сообщить о принятом решении уведомителю в письменной форме, копию решения отправить другим заинтересованным компетентным органам.

После того, как уведомитель получил разрешение от компетентного органа пункта назначения, он указывает дату погрузки в сопроводительной документации и направляет копии заинтересованным компетентным органам за 3 рабочих дня до того, как фактически перевозка будет начата. Кроме того, в Регламенте прямо предусмотрено, что отходы, которые являются предметом получения различных уведомлений, не должны смешиваться друг с другом при перевозке, и все документы, посланные компетентными органами или полученные ими, должны храниться минимум 3 года соответствующими компетентными органами, уведомителями и грузополучателями.

Постановление (Регламент) ЕС № 2150/2002 Европейского Парламента и Европейского Совета от 25 ноября 2002 г. о статистике по отходам. Регламент предписывает создание общеевропейской системы сбора и систематизации данных об образовании отходов и обращении с ними в ЕС. Согласно указанному регламенту, государства-члены ЕС должны передавать отчеты и результаты оценок Европейскому статистическому агентству – Евростату (*Eurostat*) – в соответствующем формате. Приложения к Регламенту в систематизированном виде представляют собой классификацию отходов, в том числе опасных, в целях статистического учета с присвоением статистических кодов их категориям. Она основана на упоминавшемся ранее Европейском каталоге отходов (EWC), а также на Статистическом классификаторе видов экономической деятельности в ЕС (NACE REV.1), утвержденном регламентом № 3037/90 от 9 октября 1990 г.

Директива № 2002/95/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. об ограничении некоторых опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании

(вторая директива WEEE), согласно которой государства-члены ЕС должны гарантировать, что с 1 июля 2006 г. новое электрооборудование, поступающее на рынок, не будет содержать свинца, ртути, кадмия, шестивалентного хрома, полибромбифенилов или эфиров полибромдифенилов.

Кроме нормативных документов (директив), Европейская Комиссия регулярно выпускает так называемые «коммюнике» или «сообщения» («Communication»), которые содержат обобщенные положения директив в той или иной области, а также планируемый порядок применения этих директив и ожидаемые результаты. Такие сообщения являются программными документами и определяют основные направления национальной политики стран-членов ЕС в различных областях. Например, в сообщении Комиссии Совету и Парламенту Европы от 21 февраля 2007 г. о Пояснительной записке об отходах и побочных продуктах изложены руководящие принципы, позволяющие ответственным органам определить, что должно классифицироваться как отходы, а что нет [61]. Так, оставшиеся от производства материалы не считаются отходами, если их дальнейшее использование является фактом, а не расплывчатой возможностью, и если их можно использовать снова без дальнейшей обработки как составную часть непрерывного процесса производства. Кроме того, побочный продукт не должен быть материалом, который производитель обязан уничтожить, или чье использование запрещено. Далее существуют различные факторы, которые идентифицируют материалы в качестве отходов. Например, такие факты как, что никакое другое применение кроме размещения на полигоне не может быть предусмотрено, что предполагаемое использование окажет сильное воздействие на окружающую среду или требует специальных защитных мер, что метод обработки является стандартным методом переработки отходов, что предприятие получает материал как отходы или, что предприятие стремится ограничить количество производимого материала. Комиссия приводит примеры продуктов, которые являются отходами, и тех, что не являются ими. Еще одним программным документом в этой области стала *Стратегия управления отходами в ЕС*, принятая 14 ноября 1996 г. Стратегия содержит определение основных понятий, используемых в практике обращения с отходами, и определяет основные направления работы в этой области для стран-членов ЕС.

Вышеназванные нормативные и программные документы являются основными инструментами регулирования вопросов, касающихся управления отходами в странах ЕС. Тем не менее, в дополнение к такому традиционному подходу, в странах ЕС имеется ряд рыночных инструментов, которые дополняют нормативные методы управления отходами (рис. 3).



Рис. 3. Инструменты регулирования процесса управления отходами в ЕС [7].

Некоторые из этих инструментов являются обязательными для исполнения (это определяется национальными законодательствами), например, уплата соответствующих налогов. Другие создаются на добровольной основе группами участников рынка (например, системы переработ-

ки отходов для отдельных отраслей промышленности, системы экологической сертификации и т. д.).

1.2. Особенности практического обращения с отходами в странах ЕС

В соответствии с общеевропейским законодательством, сбором, транспортировкой и переработкой отходов имеют право заниматься государственные, муниципальные и частные компании и организации, а также компании и организации смешанной формы собственности, имеющие необходимые разрешения. Независимо от вида компании, осуществляющей сбор, транспортировку и переработку отходов, практически все схемы обращения с отходами в странах ЕС предполагают их первичную сортировку непосредственно в местах образования (в домашних хозяйствах, на производстве, в офисных помещениях и т. д.). Наиболее часто встречающиеся варианты сортировки отходов предполагают их разделение на опасные и неопасные. Опасные отходы должны собираться отдельно и доставляться на специальные пункты сбора, откуда их направляют на переработку в специализированные компании. Частные лица, как правило, осуществляют доставку опасных отходов на пункты сбора самостоятельно; для промышленных предприятий может быть организован вывоз непосредственно с производства.

Транспортировка рассортированных отходов осуществляется специализированными транспортными средствами. Такая схема транспортировки предусматривает либо вывоз отдельных видов отходов в определенные дни недели или месяца, либо размещение на одной машине нескольких баков для разных видов отходов. Любая схема первичной сортировки, сбора, транспортировки и переработки отходов предполагает обязательную информационную поддержку. Виды подобной поддержки могут быть различны [7]: а) информационные брошюры и другие печатные материалы, распространяемые по домашним хозяйствам, офисам, учреждениям и другим субъектам, производящим отходы; б) специализированные информационные службы, которые могут быть организованы региональными или муниципальными властями, а также специальными общественными организациями.

Как уже отмечалось, важнейшая роль в управлении отходами принадлежит минимизации или предотвращению их образования. Несмотря на то, что минимизация и предотвращение образования отходов являются наиболее предпочтительными способами обращения с ними, в настоящее время не существует четкого определения этих понятий. Попытка сформулировать соответствующие дефиниции была предпринята на встрече Организации Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСД) в Берлине в 1996 г. [7]. Минимизация отходов – понятие шире, чем предотвращение их образования. В общеевропейской практике обращения с отходами предотвращение образования отходов подразумевает: а) количественное сокращение объема отходов; б) снижение токсичности отходов («повышение качества отходов»). Простое количественное сокращение отходов (как опасных, так и неопасных) не является главной целью процесса минимизации. Основным критерием во всех случаях должно быть максимальное снижение возможного негативного влияния отходов на окружающую среду. Например, переход на упаковку с более низким весом не обязательно означает, что она будет более безопасна для окружающей среды, хотя общий ее вес в объеме отходов снизится.

Следует отметить, что существующая общеевропейская система сбора статистических данных о сокращении количества отходов пока не позволяет подробно отслеживать ситуацию с отходами во всех странах ЕС [7]. В большинстве из них организован сбор такой информации, некоторые из них смогли организовать достаточно эффективные национальные системы учета отходов. Это, например, регулярные исследования Системы Управления Муниципальными отходами, проводимые Агентством по ООС Англии и Уэльса; в Дании функционирует «*Information System for Waste and Recycling (ISAG)*» (Информационная система по отходам и вторичной переработке). Как уже отмечалось, 25 ноября 2002 г. Европейским Парламентом и Евро-

пейским Советом принято Постановление (ЕЕС) № 2150/2002 о статистике по отходам, предписывающее создание общеевропейской системы сбора и систематизации данных об образовании отходов и обращении с ними в ЕС.

В настоящее время, как на общеевропейском, так и национальном уровнях, согласно принятой иерархии управления отходами (см. рис. 2), уже реализован ряд мер и проектов, направленных на минимизацию отходов и предотвращение их образования в странах ЕС. Эти меры и проекты позволяют оценить потенциал некоторых инструментов – политических, информационных и экономических, которые могут быть использованы в данной области с целью минимизации и предотвращения образования отходов (непосредственно в ходе той или иной деятельности). Среди указанных инструментов различают следующие [7].

Нормативно-правовые инструменты (директивы, постановления). К таким инструментам относятся некоторые директивы и постановления, принятые на общеевропейском, национальном и отраслевых уровнях, которые регулируют порядок обращения с отдельными видами отходов (в т. ч., направлены на сокращение их количества). На общеевропейском уровне, кроме директив, регулирующих общие вопросы обращения с отходами (например, Рамочная Директива по отходам), это директивы Европейского Парламента и Европейского Совета по вышедшим из строя транспортным средствам, по ограничению использования определенных опасных веществ в электротехническом и электронном оборудовании, по упаковке и упаковочным материалам, по отработанным маслам, по иловым осадкам очистных сооружений, по элементам питания и т. д., а также европейские Экологические программы действий. Примером соответствующих национальных программ могут служить: программа «Отходы 21» Датского правительства (План обращения с отходами Датского правительства на период 1998–2004 гг.), Национальный план Испании по муниципальным отходам на период 2000–2006 гг. и т. д. Большинство стран-членов ЕС приняли или планируют принять нормативные акты, регулирующие порядок захоронения определенных видов отходов на полигонах.

Экономические инструменты. Одним из самых распространенных инструментов минимизации образования твердых бытовых отходов является схема «Платишь столько, сколько выбрасываешь», которая применяется при работе как с домашними хозяйствами, так и с другими производителями твердых бытовых отходов. Она предусматривает оплату услуг компаний, занимающихся вывозом и утилизацией отходов, в соответствии с весом отходов. Следующим весьма распространенным инструментом являются различные налоги на захоронение, утилизацию и/или транспортировку отходов. В этом случае налоги имеют фиксированную ставку. В Европе такой налог введен в 10 странах. Кроме того, в Дании, Норвегии и Голландии существует налог на сжигание отходов. Естественно, что такие инструменты могут быть эффективными при условии, что в стране или регионе, где они применяются, существуют альтернативные способы и технологии переработки и утилизации отходов, соотносимые или более выгодные по стоимости с обычным захоронением отходов на полигонах. Еще одним инструментом экономического стимулирования сокращения отходов является возмещение/снижение ставки налогов на захоронение и/или вывоз отходов на сумму, затраченную домашним хозяйством или иным хозяйствующим субъектом на переработку/минимизацию отходов у источника (например, компостирование с использованием специальной установки). Относительно новым инструментом в сфере обращения с отходами стали так называемые «товарные сертификаты» или «товарные экологические разрешения». Этот инструмент пришел из практики экологической политики и представляет собой разрешение на определенное количество (квоты) тех или иных видов отходов. Если тот или иной потребитель производит меньшее количество отходов, он может продать свою квоту другим потребителям. Широко распространена в Европе практика минимизации отходов – *перенесение ответственности за производство отходов на производителя*. В этом случае именно производитель несет ответственность за объем и качество отходов, которые могут образоваться в процессе производства его продукции. Поскольку соответствующие затраты могут быть слишком высоки для отдельных производителей, то обычно все, либо боль-

шинство предприятий отрасли создают специализированную компанию, которая занимается переработкой и/или утилизацией отходов для этой отрасли. Финансирование деятельности такой компании осуществляется предприятиями отрасли и торговыми компаниями, реализующими продукцию этих предприятий. Такое перенесение ответственности за отходы на производителей практикуют почти все страны Европы. Недостатком такой схемы является ослабление координационной роли государственных органов в национальной системе управления отходами, что ведет, в свою очередь, к созданию дополнительных контролирующих инстанций. Тем не менее она позволяет достичь такого уровня минимизации и переработки отходов, который, как правило, недоступен в муниципальных схемах управления отходами без значительных инвестиций. В некоторых европейских странах широко используется схожий инструмент – так называемые «добровольные соглашения» (*Voluntary agreements*). Обычно они заключаются между органами власти, ответственными за обращение с отходами, и отдельными отраслями промышленности. Предметом таких соглашений является сокращение отдельных видов отходов, чтобы создать дополнительные, помимо законодательных, стимулы для их минимизации. Такие соглашения напоминают схемы перенесения ответственности на производителей, поскольку также представляют собой договоры между органами власти и производителями (продукции или отходов).

Технологические инструменты. Технологические методы минимизации и предотвращения образования отходов разрабатываются исходя из требований соответствующих нормативно-правовых документов, а также в соответствии с возможностями отраслевых технологических процессов. Как правило, они предполагают:

- уменьшение количества упаковки;
- снижение содержания вредных веществ в конечном продукте;
- замену вредных/ опасных веществ и материалов в продукте на менее опасные;
- удлинение срока жизни продукта;
- изменение дизайна продукта на более экологичный (использование экологически чистых материалов; создание продуктов с максимальными возможностями повторного использования и вторичной переработки и т. п.).

Информационные инструменты, к которым относятся различные информационные кампании и информационные материалы (печатные, электронные, радио, телевизионные и пр.) по вопросам минимизации отходов и предотвращения их образования. Подобные кампании и материалы для них могут быть подготовлены как органами государственной и местной власти, так и отдельными компаниями. В ряде стран создаются специализированные информационные центры и консультационные службы, которые предоставляют соответствующую информационную и консультационную поддержку домашним хозяйствам, компаниям, предприятиям и учреждениям по вопросам сокращения отходов. Финансирование подобных служб осуществляется из разных источников: правительственные фонды, международные программы, средства предприятий и т. д.

Особым элементом в иерархии управления отходами является повторное использование продуктов и материалов, что подразумевает долгосрочное пользование ими во избежание покупки новых товаров [7]. Это предполагает приобретение предметов и материалов длительного или многократного использования, починку и обновление поврежденных предметов. Одной из возможностей снятия с компании ответственности за утилизацию электронного и сложного офисного оборудования является взятие его в аренду. Кроме того, аренда такого оборудования позволяет увеличить количество пользователей и продлить срок его службы. Например, в Европе довольно широкое распространение получила практика передачи (как на безвозмездной основе, так и за небольшую компенсацию) старой мебели, устаревшей офисной и бытовой техники на нужды благотворительности.

Особое значение придается вторичной переработке отходов в сырье и продукты, а также компостированию (при возможности) отходов. В частности, одной из целей 6 Экологической

программы действий является «восстановление и вторичная переработка отходов в разумных масштабах, т. е. до того уровня, пока это производит положительный экологический эффект, является экономически выгодным и технически возможным». Под вторичной переработкой подразумевается любое повторное использование материала в производственном процессе, которое выводит этот материал из потока отходов (это не касается использования материала в качестве топлива). Сюда также входит и переработка материала в тот же материал, либо в иное сырье для производственных целей (определение ОЭСР). Надо отметить, что сегодня в странах ЕС вторично перерабатывается всего лишь около 15% общего объема отходов [7]. Больше всего отходов – от 30 до 50% и более – подвергаются вторичной переработке в Швеции, Дании, Швейцарии, Германии, Бельгии, Норвегии, Австрии и Голландии. Меньше всего – до 15% – перерабатывают Великобритания, Исландия, Португалия и Греция. Остальные страны перерабатывают от 15% до 30% своих отходов [7].

В некоторых случаях, когда переработка или компостирование отходов не целесообразны (например, по экономическим или техническим причинам), предпочтительным является сжигание отходов для производства энергии [7]. Обычно стоимость строительства и эксплуатации современных установок для сжигания отходов выше, чем расходы на захоронение. Одним из способов повысить конкурентоспособность сжигания может стать налог на захоронение отходов. При планировании строительства новых установок для сжигания отходов важно убедиться, что сжигание не станет более привлекательным, чем вторичная переработка. Это может произойти, например, в случае с органическими муниципальными отходами, когда их сжигание станет более предпочтительным по сравнению с вторичной переработкой или компостированием. Законодательство ЕС (в частности, Директива по сжиганию отходов) накладывает строгие ограничения на уровень вредных выбросов от мусоросжигающих заводов, что требует при их строительстве создания эффективных, но дорогостоящих очистных сооружений. Тем не менее заводы по сжиганию отходов нередко составляют конкуренцию захоронению отходов на полигонах (из-за высоких налогов на захоронение). Необходимо отметить, что в разных странах ЕС отношение к сжиганию отходов неоднозначно. Как уже отмечалось, директива по сжиганию отходов устанавливает нормативы вредных выбросов в атмосферу, воду и почву для мусоросжигающих заводов, перерабатывающих как опасные, так и неопасные отходы. В частности, для ртути и ее соединений (в пересчете на ртуть) допустимые пределы вредных выбросов в атмосферу составляют $0,05 \text{ мг/м}^3$ (максимальные показатели, которые не могут быть превышены в ходе эксплуатации установок для сжигания неопасных бытовых отходов), а для сточных вод от очистных установок инсинераторов – $0,03 \text{ мг/л}$ [36]. Сейчас в мире действуют около 1500 заводов по сжиганию отходов, из них каждый третий находится на территории ЕС [7]. Сжигание отходов без получения энергии в настоящее время в странах ЕС используется все меньше; предпочтение отдается сжиганию с получением электроэнергии и тепла. В соответствии с положениями Директивы по сжиганию отходов, к установкам по сжиганию отходов без получения энергии и тепла применяются те же требования безопасности, что и к когенерационным установкам.

Одной из наименее привлекательных альтернатив в обращении с отходами является их «простое» захоронение на полигонах. По данным Евростата на 2002 г., всего 4 страны в Европе – Дания, Бельгия, Голландия и Швейцария, захоранивали на полигонах менее 20% своих отходов за счет применения других технологий переработки [7]. В среднем же, в ЕС на полигоны вывозится порядка 75% всех муниципальных отходов [38]. В Отчете Комиссии Совета и Европейскому парламенту от 19 июля 2006 г. было отмечено, что размещение отходов на полигонах продолжает оставаться доминирующей формой удаления отходов (44% отходов) [61]. Надо отметить, что в большинстве случаев официально организованные полигоны и свалки представляют собой по сути специализированные предприятия по утилизации отходов (рис. 4–6). При оборудовании свалок применяются геомембраны, бетонные контейнеры, геотекстиль, экраны из глины и бетона, сочетание указанных приемов и материалов, отвердевание отходов и др.

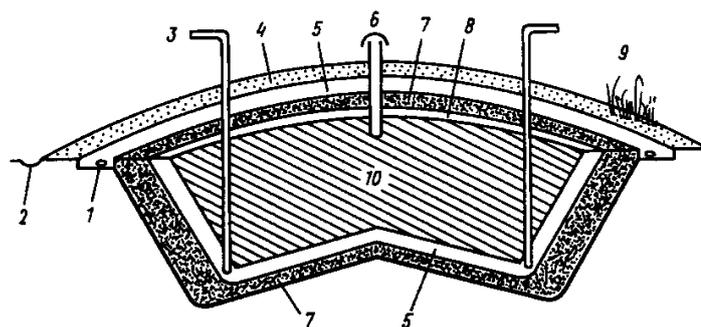


Рис. 4. Схема безопасной свалки с системой верхнего и нижнего покрытий, обеспечивающих сбор и удаление жидкости [6]: 1 – слив фильтрата; 2 – сливная канава; 3 – удаление жидкости; 4 – грунт; 5 – проницаемый слой; 6 – газовая вентиляция; 7 – непроницаемый слой; 8 – подложка; 9 – растительность; 10 – опасные отходы

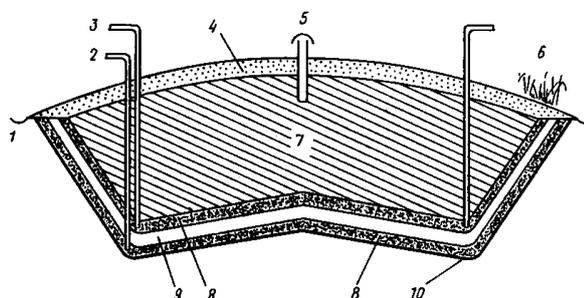


Рис. 5. Схема безопасной свалки с двойной системой покрытия нижнего основания [6]: 1 – сливная канава; 2 – система контроля за утечками; 3 – удаление жидкости; 4 – грунтовое покрытие; 5 – газовая вентиляция; 6 – растительность; 7 – опасные отходы; 8 – проницаемый слой; 9 – непроницаемый слой; 10 – мембрана покрытия

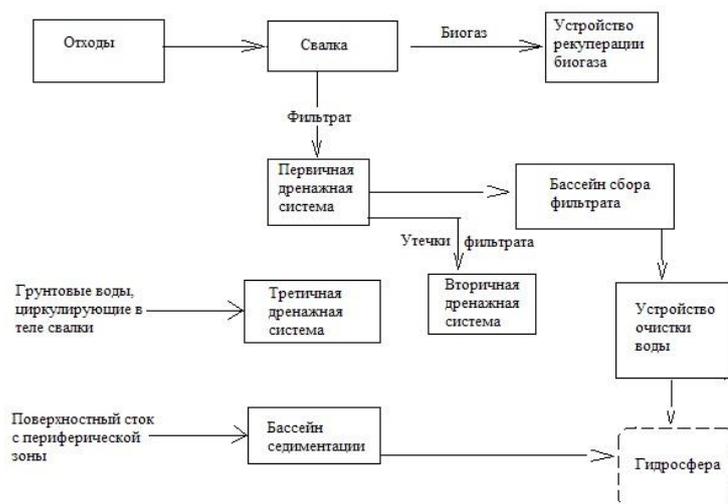


Рис. 6. Типичная схема свалки для размещения опасных отходов.

Вывоз на свалки ртутьсодержащих отходов возможен только после стабилизации содержащей в них ртути (с использованием специальных технологий стабилизации/солюдификации); в большинстве стран установлены предельные уровни ртути в отходах, подлежащих захоронению на свалках, действуют лимиты на выщелачивание ртути (в ходе проведения специальных

тестов) из отходов, предполагаемых к размещению на полигонах и свалках, а также предельные концентрации ртути в отходящих от установок по сжиганию отходов газов.

В Австрии предельная концентрация для ртутьсодержащих материалов (отложений, отходов), используемых на свалках для земляных засыпок, составляет 20 мг/кг сухой массы. Если же материал был обработан с применением технологии стабилизации/солидификации и если ртуть в нем присутствует только в виде сульфида (HgS), то предельное содержание составляет 3000 мг/кг.

В Германии установлены (*17th Ordinance of the Federal Pollution Control Act*) значения предельной эмиссии ртути и ее соединений (в пересчете на ртуть) для установок по сжиганию ТБО, опасных отходов, медицинских отходов и осадков сточных вод – 0,03 мг/м³ (как среднесуточное значение) и 0,05 мг/м³ (как среднее за 30 мин.), приведенные к 11% кислорода [46].

В Норвегии небольшие количества органических РСО обычно сжигаются, а отходы с содержанием ртути более 0,25% обрабатываются в соответствии с нормативами для опасных отходов [36]. В стране установлены лимиты эмиссии ртути (в отходящих газах, выбрасываемых в атмосферу) при сжигании опасных отходов – 0,05 мг/м³ для новых установок (инсинераторов) и 0,1 мг/м³ для старых инсинераторов; для инсинераторов, сжигающих муниципальные отходы, лимит составляет 0,03 мг/м³.

В Финляндии Закон об отходах обязывает: минимизировать образование отходов; отдельно собирать отходы для вторичного использования материалов; отдельно собирать отходы для энергопроизводства; размещать не утилизируемые отходы на полигонах так, чтобы они не причиняли вреда окружающей среде. Для реализации основных положений в различных регионах Финляндии разработаны и действуют специальные «Инструкции по отдельному сбору отходов в бытовом секторе», которые основываются на утвержденных муниципальными образованиями приказах по управлению отходами. Одна из таких Инструкций действует в регионе Пяйят-Хяме (центр г. Лахти) [9]. Согласно указанной Инструкции, отходы, подлежащие захоронению, – это отходы, непригодные для вторичного использования. К данному виду отходов относятся:

- содержащие алюминиевую фольгу: упаковки для кофе, чипсов, алюминиевые крышки молочных упаковок, а также упаковки для напитков, содержащие алюминиевую фольгу;
- предметы гигиены: подгузники, прокладки;
- обувь, изделия из резины, натуральной и искусственной кожи;
- фарфор, керамика, оконное стекло, зеркала;
- пластмасса PVC 03 и прочая неопознанная пластмасса, из которой сделаны игрушки и упаковки для них, а также шланги, трубы, дождевые плащи, клеенки, пленка для проекторов, пластиковые папки и карточки;
- пакеты для сбора мусора от пылесосов, лампы накаливания, сигаретные окурки, жевательная резинка;
- текстильные отходы: одежда, ковры, колготки, носки, веревки, лента;
- упаковки, содержащие пищевые отходы; крупные кости, например свиного окорока;
- CD диски, дискеты, VHS кассеты для магнитофонов, компакткассеты.

Так называемые опасные отходы необходимо сдавать в специальные приемные пункты. Центр по сбору и утилизации отходов Куяла, а также пункты приема отходов принимают опасные отходы домашнего хозяйства до 50 кг и/или до 50 л бесплатно. К опасным отходам домашнего хозяйства в Финляндии относятся краски, клеи, лаки, растворители, антисептики для древесины, масляные фильтры, масла, амортизаторы, батарейки, аккумуляторы, охлаждающие и тормозные жидкости, средства для мытья двигателей, пестициды, сильные моющие средства и т. д. Батарейки и небольшие аккумуляторы необходимо отнести в специальные контейнеры, расположенные в экопунктах или в продуктовых магазинах. Аптеки принимают неиспользованные и просроченные лекарства, а также ртутные термометры. Прием пропитанной химикатами древесины осуществляется в пунктах приема отходов. Относящиеся к опасным отходам

оборудование – холодильники, морозильные камеры, телевизоры, мониторы, все виды ртутных ламп – принимаются бесплатно в пунктах приема электронного лома (SER).

Во Франции установлены значения предельной эмиссии ртути и ее соединений (общей ртути) при сжигании опасных промышленных отходов, которые составляют $0,05 \text{ мг/м}^3$ для выбросов в воздух и $0,05 \text{ мг/л}$ в воде для новых установок (заводов) сжигания отходов (введенных в действие после 31.12.1996 г.), а для действующих установок лимит составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$ (с 01.07.2000 г.). Предельная эмиссия для установок по сжиганию бытовых отходов составляет $0,2 \text{ мг/м}^3$ (суммарно для кадмия и ртути) [36].

В Чехии отходы с концентрацией ртути более 3000 мг/кг запрещено (с 1992 г.) размещать на свалках [46].

В Швеции существует норматив предельного содержания ртути в отходах, захороняемых на свалках, составляющий 500 мг/кг сухой массы [54]. Для отходов с содержанием более 1% ртути применяется концепция терминального (конечного) размещения (длительного, постоянного хранения), которая базируется на конверсии ртути, содержащейся в отходах, в элементарную ртуть или на переводе ее в химически стабильные формы (например, в HgS) с последующим размещением металлической ртути или обработанных отходов (после стабилизации ртути) в специальных (подземных) хранилищах. Для отходов с содержанием ртути менее 5% предлагается стабилизация/солидификация с применением цемента и последующим формированием монолитов, фиксирующих ртутьсодержащий материал. Исследования показали, что после захоронения обработанных и захороненных (в виде золошлаковых монолитов) отходов выщелачивание общей ртути из них составляет всего $0,008\text{--}0,013\%$ (по массе), что в $100\text{--}150$ раз больше, чем выщелачивание из такого монолита, который первоначально содержал метациннабарит (минерал класса сульфидов, HgS , высокотемпературная кубическая полиморфная модификация киновари с кристаллической структурой типа сфалерита, в отличие от киновари имеет черный или сероватый, реже темно-коричневый цвет). В то же время указанные способы стабилизации/солидификации РСО относительно недорогие и, очевидно, достаточно эффективны для обезвреживания небольших их объемов с относительно невысокими изначальными концентрациями ртути.

Особую разновидность РСО составляют различные виды ртутных ламп (низкого давления – стандартные люминесцентные и компактные люминесцентные, высокого и сверхвысокого давления и др.). По имеющейся оценке, в странах ЕС ежегодно из строя выходит свыше 600 млн. люминесцентных ламп, которые содержат 120000 т стекла, некоторые цветные металлы, от $4,5$ до 9 т ртути, а также определенное количество ПХБ. Степень организованного сбора и переработки использованных ртутных ламп в целом невелика. Так, в разных странах ЕС ежегодно собирается и утилизируется (перерабатывается) в среднем от 14% до 80% использованных ламп. Например, в Австрии в 1994 г. было собрано свыше 50% ламп (примерно $2,5 \text{ млн.}$ ламп ежегодно). Потребители платили 1 евро за утилизацию одной лампы. В Швеции ежегодно перерабатывается $1,5 \text{ млн.}$ трубчатых люминесцентных ламп и 42 тыс. компактных люминесцентных ламп; 550 тыс. ламп ежегодно импортируется для переработки из других северных стран. В Великобритании ежегодно удалялось около 80% ртутных ламп. Наиболее развитая система сбора и переработки использованных ртутных ламп сложилась в Германии. Так, уже в 1994 г. в стране насчитывалось 220 пунктов приема отработанных ламп, что позволяло изымать из общего потока отходов до 70–80% от общего количества ежегодно используемых ртутных ламп. Согласно [53], в целом в ЕС порядка 58% использованных ртутных ламп размещается на свалках.

Для регенерации ртути или уменьшения количества отходов в странах ЕС обычно применяются обжиг в печи и дистилляционные процессы (вакуумный температурный рециклинг). Отходы помещаются в вакуумную камеру и перерабатываются при температуре $500\text{--}700^\circ\text{C}$. Ртуть возгоняется при субатмосферном давлении. Газ выбрасывается в атмосферу через уголь-

ные фильтры. Иногда для регенерации ртути применяются также процессы химического осаждения.

2. Принципы обращения с ртутьсодержащими отходами в США

В США основные принципы обращения с отходами определяются Законом о восстановлении и использовании ресурсов (*Resource Conservation and Recovery Act, RCRA*). Указанный Закон включает перечень (список) специфических опасных отходов, включая «*mercury-bearing wastes*», т. е. ртутьсодержащие отходы (табл. 2). Закон RCRA устанавливает стандарты обработки (переработки, обезвреживания, захоронения) отходов, в т. ч. PCO, а также определяет критерии отнесения отходов, не входящих в указанный список, к опасным ртутьсодержащим отходам.

Таблица 2

Опасные PCO, входящие в список RCRA [59]

Код отходов	Описание
K071	Шламы очистки рассолов хлорного производства (электролизёры с ртутным катодом)
K106	Осадки сточных вод (шламы) хлорно-щелочного производства (по ртутному методу)
K175	Осадки сточных вод (шламы) производства винилхлоридного мономера с использованием в качестве катализатора дихлорида ртути
P065	Фульминат ртути (гремучая ртуть)
P092	Фенилртуть ацетат
U151	Ртуть

Закон RCRA определяет опасные отходы как твердые отходы или смесь твердых отходов, которые вследствие их количества, концентрации или физических, химических или инфекционных характеристик могут: а) быть причиной (вызывать) или вносить значительный вклад в увеличение смертности или в увеличение серьезных необратимых или инвалидирующих обратимых заболеваний, б) обуславливать реальный или потенциальный риск для здоровья человека или окружающей среды, когда отходы не должным образом обрабатываются, складываются, транспортируются или размещаются на свалках. Важнейшими характеристиками опасных отходов являются возгораемость, коррозивность, реакционная способность, токсичность.

Согласно требованиям RCRA (40 CFR §262.11), каждая «персона», которая производит отходы, должна определять их опасность [39]. К опасным ртутьсодержащим отходам, согласно критериям токсичности, установленным в RCRA, относятся те, в которых концентрация общей ртути в экстрактах (получаемых по стандартной аналитической методике) из отходов превышает 0,2 мг/л [59]. Стандартная аналитическая методика, или *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), т. е. процедура выщелачивания характерных токсичных веществ, представляет собой аналитическую процедуру определения подвижности поллютантов, присутствующих в отходах (так называемый тест TCLP, тест токсичности, тест выщелачивания), посредством обработки пробы отходов тем или иным растворителем (экстрагентом) и последующим измерением концентрации опасного вещества в полученном экстракте. Данная процедура установлена (прописана) для 39 различных веществ, в том числе и для ртути. При определении подвижности ртути пробы отходов обрабатываются раствором уксусной кислоты / гидроксида натрия в соотношении (образец:раствор) 1:20 в течение 18 час. Предполагается, что в данном случае симулируется воздействие подземных вод на размещенные на свалке отходы. Затем в экстракте определяется содержание ртути. Если содержание последней превышает 0,2 мг/л, то отходы относятся к категории опасных. Эта процедура, известная также как «EPA Test Method 1311», описана в «Method 1311 of U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Publication SW-846».

Закон о сохранении и восстановлении ресурсов США определяет несколько категорий ртутных отходов, каждая из которых требует соответствующей технологии, или основанного на концентрации ртути стандарта переработки, или так называемой универсальной стандартной обработки (UTS) [33, 40, 42]. В Законе RCRA установлены (на основе теста TCLP) стандарты обработки опасных отходов (включая PCO и продукты, образующиеся при их переработке), которые предполагается размещать на свалках. Ограничения на захоронение установлены для 6 типов отходов (отходы групп D009, K071, K106, P065, P092, U151), которые содержат ртуть как первичную опасную субстанцию (табл. 3).

Таблица 3

Стандарты обработки для PCO [31, 45, 58]

Код отходов	Описание отходов (токсичность характеризуется по тесту TCLP)	Стандарты обработки *	
		для сточных вод (<i>wastewater</i>)	для твердых отходов (<i>nonwastewater</i>)
D009	Твердые отходы, содержащие ≥ 260 мг/кг общей ртути, а также органику, и не являются остатками сжигания (« <i>High Mercury-Organic Subcategory</i> »)	Не применимо (не установлено)	IMERC или RMERC**
	Твердые отходы, содержащие ≥ 260 мг/кг общей ртути, неорганические, включающие остатки от IMERC или остатки от RMEC (« <i>High Mercury-Inorganic Subcategory</i> »)	Не применимо	RMERC
	Твердые отходы, содержащие < 260 мг/кг общей ртути и являющиеся остатками от RMERC (« <i>Low Mercury Subcategory</i> »)	Не применимо	0,20 мг/л (тест TCLP)
	Прочие твердые отходы, содержащие < 260 мг/кг общей ртути и не являющиеся остатками от RMERC (« <i>Low Mercury Subcategory</i> »)	Не применимо	0,025 мг/л (тест TCLP)
	Все D009 сточные воды (« <i>wastewater</i> »)	0,15 мг/л	Не определено
	Элементарная ртуть, содержащая радиоактивные материалы (только твердые отходы)	Не применимо	AMLGM
	Гидравлическая жидкость (гидравлическое масло), содержащая радиоактивную ртуть (« <i>nonwastewater</i> »)	Не применимо	IMERC
F039	Свалочный фильтрат (продукты выщелачивая)	0,15 мг/л	0,025 мг/л (тест TCLP)
K061	Контроль эмиссии пыли/шлама при первичном производстве стали в электропечах	Не применимо	0,025 мг/л (тест TCLP)
K071	Твердые отходы (шлам очистки рассолов хлорного производства), которые являются остатками от RMERC	Не применимо	0,20 мг/л (тест TCLP)
	Твердые отходы (шлам очистки рассолов хлорного производства), которые не являются остатками от RMERC	Не применимо	0,025 мг/л (тест TCLP)
	Все K071 сточные воды (« <i>wastewater</i> »)	0,15 мг/л	Не применимо
K088	Отработанные электролиты при первичном восстановлении алюминия	0,15 мг/л	0,025 мг/л (тест TCLP)
K101	Очистка смолистых остатков от ректификации анилинсодержащих соединений в производстве ветеринарных фармацевтических средств из мышьяка и органомышьяковых соединений.	0,15 мг/л	Не применимо
K106	Твердые отходы (обработка шламов сточных вод электролизёров с ртутным катодом в хлорном производстве), содержащие ≥ 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	RMERC
	Твердые отходы (обработка шламов сточных вод электролизёров с ртутным катодом в хлорном производстве), содержащие < 260 мг/кг общей ртути и являющиеся остатками от RMERC	Не применимо	0,20 мг/л (тест TCLP)
	Другие твердые отходы, которые содержат < 260 мг/кг общей ртути и не являются остатками от RMERC	Не применимо	0,025 мг/л (тест TCLP)

	Все K106 сточные воды	0,15 мг/л	Не применимо
P065	Отходы фульмината ртути (гремучей ртути), независимо от содержания в них общей ртути, которые не являются остатками сжигания или остатками от RMERC	Не применимо	IMERC
	Отходы фульмината ртути (гремучей ртути), которые являются остатками от сжигания или остатками от RMERC, и содержат ≥ 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	RMERC
	Отходы, содержащие фульминат ртути (гремучей ртути), которые имеют остатки от RMERC и содержат < 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	0,20 мг/л (тест TCLP)
	Отходы фульмината ртути (гремучей ртути), которые являются остатками от сжигания и содержат < 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	0,025 мг/л (тест TCLP)
	Все сточные воды («wastewater»), содержащие фульминат ртути	0,15 мг/л	Не применимо
P092	Твердые отходы, содержащие фенилртуть ацетат, независимо от содержания в них общей ртути, которые не образуются при сжигании или не являются остатками от RMERC	Не применимо	IMERC или RMERC
	Твердые отходы, содержащие фенилртуть ацетат, которые имеют другие остатки от сжигания или имеют остатки от RMERC, и содержат ≥ 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	IMERC
	Твердые отходы, содержащие фенилртуть ацетат, которые являются остатками от RMERC и содержат < 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	0,20 мг/л (тест TCLP)
	Твердые отходы, содержащие фенилртуть ацетат, которые являются остатками сжигания и содержат < 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	0,025 мг/л (тест TCLP)
	Все сточные воды («wastewater»), содержащие фенилртуть ацетат	0,15 мг/л	Не применимо
U151	Твердые отходы (ртуть), которые содержат ≥ 260 мг/кг общей ртути	Не применимо	RMERC
	Твердые отходы (ртуть), которые содержат < 260 мг/кг общей ртути и которые являются остатками только RMERC	Не применимо	0,20 мг/л (тест TCLP)
	Твердые отходы (ртуть), которые содержат < 260 мг/кг общей ртути и которые не являются остатками RMERC	Не применимо	0,025 мг/л (тест TCLP)
	Все U151 сточные воды («wastewater»)	0,15 мг/л	Не применимо
	Элементарная ртуть, содержащая радиоактивные материалы	Не применимо	AMLGM **

* В законе RCRA в общем случае рассматриваются два вида отходов – «Wastewater» (сточные воды в традиционном понимании) и «Nonwastewater» (т. е. «несточные воды», «безводные отходы», к которым относятся твердые отходы, пастообразные отходы, отработанные гидравлические жидкости и т. п.; далее, для удобства, эту группу отходов будем называть «твердыми отходами»).

** В законе RCRA в качестве краткого обозначения трех «стандартных» методов (способов) переработки (обезвреживания) PCO используются аббревиатуры «IMERC», «RMERC» и «AMLGM». «IMERC» («incineration of mercury waste») – сжигание органических отходов, содержащих ртуть, в специальных устройствах в соответствии с техническими требованиями (40 CFR Part 264 Subpart 0 и Part 265 Subpart 0). Все сточные воды и твердые остатки, получаемые в ходе этих процессов, должны удовлетворять соответствующему стандарту обработки в соответствии с кодом отходов для каждой их субкатегории (т. е. отходы с низким содержанием ртути или отходы с высоким содержанием ртути). «RMERC» («retorting or roasting mercury waste») – дистилляция (перегонка в вакуумной реторте) или обжиг PCO в специальных термоустройствах (печах) с целью возгонки ртути (до паров) и затем конденсирования паров для восстановления элементарной (металлической) ртути. Используемые установки должны отвечать требованиям национальных стандартов для ртути, наилучшей доступной технологии контроля, стандарту наименьших достижимых темпов эмиссии для ртути и др. Все сточные воды и твердые остатки, получаемые в ходе этих процессов, должны удовлетворять соответствующему стандарту обработки в соответствии с кодом отходов для каждой их субкатегории (т. е. отходы с низким содержанием ртути или отходы с высоким содержанием ртути). «AMLGM» – стабилизация отработанной металлической (жидкой) ртути (с радиоактивным загрязнением) амальгамированием, используя медь, цинк, никель, золото, серу, в результате чего образуются нежидкие, полутвердые амальгамы и тем самым снижается потенциальная эмиссия паров ртути в воздух.

Окончательное (конечное) размещение PCO и продуктов их переработки контролируется показателями (критериями) LDRs (*Land Disposal Restriction* – ограничения на захоронение от-

ходов). Согласно этим ограничениям, запрещается размещать на свалках обработанные опасные отходы (включая остатки, образующиеся при переработке отходов), если уровни содержания остаточной ртути в них превышают установленные значения (по тесту TCLP). Экстракционные способы требуются (можно сказать, обязательны) для удаления ртути из отходов с ее содержанием > 260 мг/кг, но не требуются (не пригодны, не обязательны) для отходов с меньшим содержанием ртути. Отходы или продукты их переработки необходимо стабилизировать, чтобы обеспечить во всех экстрактах из конечного продукта стабилизации уровень менее $0,2$ мг/л при использовании теста TCLP согласно Закону RCRA, или $0,025$ мг/л при использовании универсального стандарта переработки (табл. 4).

Таблица 4

Критерии ограничения на захоронение PCO и продуктов их переработки на свалках	
Тип отходов	Ограничения для захоронения (на свалках)
Отходы с низким общим содержанием ртути (< 260 мг/кг общей ртути)	Если перегонка в реторте, то в экстракте из остатка, образующегося при переработке, должно содержаться ртути не более $0,2$ мг/л (тест TCLP). Если используются другие технологии, то не более $0,025$ мг/л (тест TCLP); для достижения этого уровня часто используются технологии солидификации/стабилизации
Отходы с высоким общим содержанием ртути (≥ 260 мг/кг общей ртути)	Обоженные в печи или перегнанные в реторте отходы должны соответствовать требованиям, предъявляемым к отходам с низким (менее 260 мг/кг) содержанием ртути
Отходы металлической ртути (с радиоактивным заражением)	Требуется обработка амальгамированием

Важно отметить, что критерии LDRs в любом случае требуют такой обработки PCO, после которой начальное (исходное) содержание в них ртути снижается не менее чем на 90% . Если наблюдается снижение значений теста TCLP в 10 раз, то не требуется 90% -ного удаления ртути из отходов [59].

Таким образом, все PCO разделяются на 2 субкатегории: 1) отходы с высоким содержанием (≥ 260 мг/кг) общей ртути («высокортутные отходы»), 2) отходы с низким содержанием (< 260 мг/кг) общей ртути («низкортутные отходы») [45]. Высокортутные отходы необходимо перерабатывать по технологии RMERC или (если они содержат органику) по технологии IMERC (т. е. сжигать). Остатки, образующиеся при использовании стандартного метода RMERC и планируемые для размещения на свалках, должны отвечать требованиям теста TPCL (содержание ртути в экстракте $< 0,20$ мг/л). Остатки, образующиеся при использовании стандартного метода IMERC и планируемые размещаться на свалках, также должны отвечать требованиям теста TCLP (содержание ртути в экстракте $< 0,025$ мг/л). Для низкортутных отходов не установлена специальная технология переработки, но в любом случае (после соответствующей обработки) они должны отвечать требованиям теста TCLP (содержание ртути в экстракте $< 0,025$ мг/л).

Можно также считать, что в общем случае рассматриваются 4 основных вида твердых PCO («*nonwastewater*»), для каждого из которых рекомендованы либо специфические технологии переработки, либо универсальная стандартная обработка (UTS) до базовых (остаточных) концентраций ртути:

1) Отходы в виде элементарной (металлической) ртути (с радиоактивным загрязнением), для которых в качестве стандартного способа переработки RCRA рекомендует амальгамацию. Радиоактивный ртутный конденсат, образующийся при переработке (перегонке, дистилляции) отходов в реторте, также требует амальгамирования. Дополнительно, сжигание и переработка в реторте, которые продуцируют остатки с ≥ 260 мг/кг радиоактивно загрязненной ртути, имеющий лимит для ртути в $0,20$ мг/л по тесту TCLP, нуждаются в переработке в реторте с последующим амальгамированием конденсата.

- Отходы с содержанием общей ртути < 260 мг/кг (отходы с низким содержанием ртути), для которых стандартные способы переработки не определены. В данном случае RCRA рекомендует обрабатывать такие отходы, для которых лимит TCLP превышает $0,2$ мг/л, любым другим альтернативным способом до снижения значений теста TCLP $\leq 0,025$ мг/л. Согласно LDRs (ограничениям на захоронения отходов), EPA US допускает использование для таких отходов технологии солидификации/стабилизации.

- Отходы с содержанием общей ртути ≥ 260 мг/кг (отходы с высоким содержанием ртути) размещать на свалках запрещено; необходима (если существуют технологические возможности) их переработка; в качестве стандартных методов переработки таких отходов RCRA рекомендует высокотемпературный обжиг (в печи) или перегонка (в вакуумной камере – реторте); концентрации ртути в экстракте (тест TCLP) из остатков переработки должны соответствовать значениям, установленным для отходов с низким содержанием ртути (см. предыдущий абзац). В принципе, EPA US определяет термическое извлечение (т. е. обжиг/перегонку в реторте) как наилучшую продемонстрированную доступную технологию (*best demonstrated available technology*, BDAT) для отходов с содержанием ртути не менее 260 мг/кг. (Здесь следует отметить, что «наилучшие доступные технические методы (НДТМ)» – понятие, введенное Директивой IPPC Европейского союза (96/61/ЕС), определяемое следующим образом [8]. «Технические методы» означают как технологические процессы, так и методы проектирования, строительства, обслуживания, эксплуатации и вывода из эксплуатации промышленных установок. «Доступные» означает технические методы, которые разработаны настолько, что они могут быть применены в соответствующей отрасли при условии экономической и технической целесообразности. «Наилучшие» означает технические методы, наиболее эффективные для достижения высокого уровня охраны окружающей среды в целом.)

- Ртутьсодержащие отходы с высоким содержанием органических веществ, трудно поддающиеся переработке рекомендованными стандартными способами; допускается сжигать их в специальных устройствах с соблюдением установленных нормативов на выбросы, сбросы и содержания ртути в образующемся при сжигании твердом остатке.

В особую группу выделяются «wastewater», т. е. «сточные воды» (в традиционном понимании), стандарт обработки для которых установлен в $0,15$ мг/л.

При переработке отходов уровни ртути в воздухе рабочей зоны не должны превышать $0,025$ мг/м³ для ее паров и $0,01$ мг/м³ для ее органических соединений. Кроме того, в США установлены значения предельной эмиссии ртути (с отходящими газами) для новых и действующих заводов по сжиганию муниципальных отходов (мощностью более 39 т/день) – $0,08$ мг/м³ [36]. Агентство по охране окружающей среды (АООС) США предлагает также правило «максимально достижимой технологии контроля» («*Maximum achievable control technology*, или МАСТ») для эмиссии опасных поллютантов в атмосферный воздух от камер сгорания (печей сжигания). Лимит для эмиссии ртути (при сжигании отходов) с отходящими газами составляет 40 мкг/м³ (при 7% кислорода) [34].

Краткая характеристика документов АООС США (Департамент твердых отходов, Office of Solid Waste (OSW), имеющих отношение к опасным и твердым отходам, приведена в Каталоге опасных и твердых отходов [33].

В шт. Миннесота (США) размещение загрязненных ртутью почв и так называемого опасного мусора (*hazardous debris waste*), определяемого как твердый материал размером более 60 мм и представляющего собой загрязненные ртутью природные геологические материалы, строительный мусор (отходы демонтажа и реставрации конструкций), растительный или животный материал и т. п., регулируется специальным актом [47]. В частности, если в указанных отходах общее содержание ртути не превышает 4 мг/кг, то их обращение не регулируется (не требуется специальной обработки). При общем содержании ртути в 4 – 10 мг/кг размещаемые на свалках отходы должны немедленно покрываться 6 -дюймовым слоем «чистого» почвогрунта с соответствующей приемкой. Отходы с содержанием ртути более 10 мг/кг могут размещаться

на свалках (в каждом конкретном случае с письменного разрешения Агентства по контролю за загрязнением шт. Миннесоты) в зависимости от объема, состава и концентрации ртути в них. Если получено положительное решение указанного Агентства, то отходы, закрытые полиэтиленовой пленкой, перевозятся спецтранспортом (транспортные средства должны быть герметичными, отходы покрыты полиэтиленовой пленкой), а при их размещении на свалке они немедленно покрываются 6-дюймовым слоем «чистой» почвы с контролем (приемкой специальной службой), что соблюдается во всех случаях. Свалки и полигоны, на которых размещаются подобные ртутьсодержащие отходы, должны характеризоваться минимальными условиями для развития процессов дегазации; на свалках и полигонах должен осуществляться необходимый мониторинг паров ртути в атмосферном воздухе до, во время и после принятия отходов на свалку. Дополнительно исследуется состав свалочного газа.

Общая масса РСО, образовавшихся в США в 1995 г., составила более 240 тыс. т, из которых более 235 тыс. т составляли отходы категории D009 (табл. 5). Кроме того, было экспортировано 9159 т РСО (примерно 71% из Канады).

Таблица 5

Образование РСО в США в 1995 г., т [31]

Тип отходов	Всего	D009	K071	K106	P065	P092	U151
Элементарная ртуть	1374	1359	0	0	0	2	116
Неорганический шлам	20655	17104	3393	991	0	6	863
Неорганические твердые отходы (кроме почв)	190342	187531	9259	9128	9607	9607	26079
Почвы	24863	22700	6293	6364	14	6299	8464
Отходы лабораторий	6358	6339	1	10	189	397	933
Общее	243592	235033	18946	16493	9810	16311	36445

3. Обращение с РСО в других странах мира

В Бахрейне ртутные отходы (*mercury waste*) классифицируются как токсичные отходы и должны быть размещены под контролем и надзором Министерства по делам окружающей среды [36].

В Китае отработанная («черновая») ртуть и РСО определяются как опасные отходы, которые необходимо должным образом обрабатывать и обезвреживать. Эмиссионный стандарт ртути для установок по сжиганию муниципальных отходов составляет $0,2 \text{ мг/м}^3$ (средняя концентрация) [36].

В Республике Корея отходы разделяются на опасные и муниципальные твердые (неопасные) по значениям концентрации тяжелых металлов в экстрактах (извлекаемых по стандартной методике) из отходов. В случае с РСО к опасным относятся отходы с концентрацией ртути в экстракте из них более $0,005 \text{ мг/л}$ [36].

В Японии установлены так называемые юридические («судебные») стандарты содержания ртути (в вытяжках из отходов) [46]: 1) для размещаемых на свалках отходов (по результатам исследования вытяжек из отходов): ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть) – $0,005 \text{ мг/л}$, алкилртуть – ниже предела обнаружения; 2) для сбрасываемых (размещаемых) в море отходов: а) органические отходы: алкилртуть – ниже предела обнаружения, ртуть и ее соединения – $0,025 \text{ мг/кг}$; б) неорганические отходы: алкилртуть – ниже предела обнаружения, ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть) – $0,0005 \text{ мг/л}$; в) отходы как кислоты или щелочи: алкилртуть – ниже предела обнаружения, ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть) – $0,025 \text{ мг/кг}$.

В Канаде существуют нормативы (общеканадский стандарт) на выброс (эмиссию) ртути в атмосферу при сжигании различных отходов (табл. 6) [32, 36].

Таблица 6

Нормативы эмиссии ртути в атмосферу при сжигании отходов

Тип инсинератора	Максимальная концентрация ртути в отходящих газах, мкг/м ³
Существующие установки	
Муниципальные отходы	20
Медицинские отходы, более 120 т/год	20
Медицинские отходы, менее 120 т/год	40
Опасные отходы	50
Осадки сточных вод	70
Новые установки	
Муниципальные отходы	20
Медицинские отходы (не зависимо от мощности)	20
Опасные отходы	50
Осадки сточных вод	70

В Нигерии токсичность твердых РСО характеризуется содержанием ртути в экстрактах из них («Extraction Procedure Test Method»): более 20 мг/л – чрезвычайно опасные отходы, 0,2–20 мг/л – опасные отходы [36]. Отсюда следует, что отходы с содержанием ртути в экстрактах менее 0,2 мг/л являются «неопасными отходами».

4. Способы переработки и обезвреживания ртутьсодержащих отходов

В общем случае можно различать две основных группы технологий переработки и обезвреживания ртутьсодержащих отходов: 1) технологии извлечения, направленные на максимально возможное удаление из отходов ртути (с получением жидкого металла), и 2) технологии иммобилизации, направленные на стабилизацию РСО (в том числе, на перевод содержащейся в них ртути в устойчивые с геохимической точки зрения ее соединения, каковым, в частности, является сульфид ртути) с целью с максимально возможного снижения подвижности (выщелачиваемости) ртути из отходов (в местах их захоронения). Среди технологий извлечения наиболее широкое применение получили термические способы (обжиг в печах, перегонка в вакуумной реторте) и, в меньшей степени, экстракционные (гидрометаллургические) способы (химическое, кислотное выщелачивание и т. д.), а среди иммобилизационных способов – различные варианты технологии стабилизации/солидификации (отвердения).

4.1. Термические способы

Температурная (тепловая) обработка отходов является физическим методом удаления (извлечения) ртути из многих видов РСО, особенно из твердых материалов (шламы, почвы, отложения и т. д.) [59]. Тепло в сочетании с пониженным давлением обуславливает дегазацию ртути. Отходящий газ улавливается и конденсируется (в специальном конденсаторе-холодильнике) для получения жидкой ртути. Типичная температура десорбции ртути составляет 320–700°C (точка кипения элементарной ртути при давлении в 1 атм. = 350°C). Обычные температуры в камере реторты или печи – 425–540°C. Типичные применяемые системы (установки): вращающаяся печь (прямое сжигание), тепловой винт или шнек (горячая нефть или пар), вакуумная реторта (кондуктивное электрическое нагревание или сжигание топлива). Основными факторами, влияющими на процесс и его стоимость, являются тип и объем отходов, содержание ртути в отходах, температура и давление процесса, содержание органики в отходах, размер частиц (гранулометрический состав перерабатываемого материала), влажность перерабатываемого материала, время его нахождения в системе.

Кратко рассмотрим особенности применения термических способов переработки РСО главным образом в США, где они получили достаточно широкое применение. Как уже отмечалось, в США обжиг (в печи) и перегонка (в вакуумной реторте) ртутьсодержащих отходов (с содержанием общей ртути не менее 260 мг/кг) являются стандартными способами их переработки (стандартный метод RMERC) [37, 42]. Более того, термическая переработка РСО считается (и, при соблюдении определенных условий, вполне оправданно) одной из лучших существующих технологий.

Обжиг отходов (*roasting*) – процесс нагревания РСО в присутствии воздуха, приводящий к дегазации ртути; затем осуществляется конденсация паров ртути и дистилляция (очистка) металлической ртути. Как правило, термическими методами перерабатываются отходы с влажностью не более 40%. Если утилизируются растворы, то их смешивают с твердым материалом.

Перегонка (*retorting*) – процесс разложения отходов и возгонки ртути в вакуумной реторте с последующим получением металлической ртути (рис. 7). Отходы нагреваются (внешним воздействием) в вакуумной камере в отсутствие воздуха при температуре выше точки кипения ртути. Ртутьсодержащие газы собираются конденсацией, водной промывкой (в скруббере) или угольной сорбцией. Кроме того, АООС США разрешает применять прямое сжигание для обезвреживания РСО с высоким содержанием органики (стандартный метод IMERC). В 1998 г. в США технологии RMERC (обжиг или возгонка в реторте с последующей конденсацией паров ртути) использовались для переработки РСО на 14 хлорно-щелочных заводах [62].

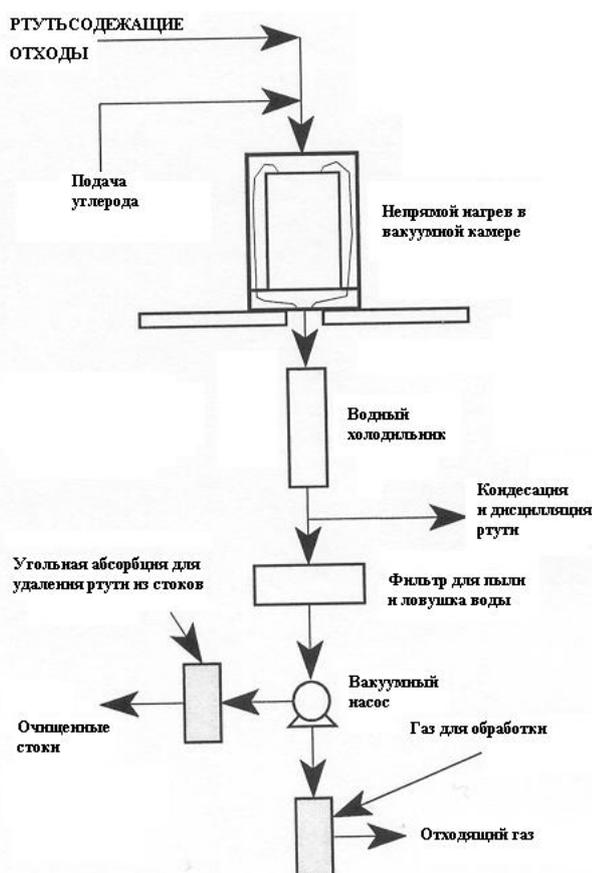


Рис. 7. Переработка РСО в вакуумной реторте.

Относительно недавно США в Брукхейвенской национальной лаборатории (*Brookhaven National Laboratory*) разработан (для Министерства энергетики США) патентованный и коммерциализованный процесс (способ) вакуумной термодесорбции «*SepraDyne™-Reduce process*», позволяющий удалять ртуть из отходов до остаточного уровня менее 10 ppm (10 мг/кг)

[57]. Способ «SepraDyne™-Reduce process», использующий вакуумную вращающуюся реторту, является простой и уникальной технологией сепарирования, позволяющей извлекать (удалять) летучие компоненты (включая ртуть) из нелетучей матрицы. В частности, данный способ (процесс) используется для удаления и восстановления (получения) ртути из отходов горной добычи с ее содержанием в них в несколько тысяч мг/кг и из смешанных отходов с содержанием ртути 800–6000 мг/кг (рис. 8).



Рис. 8. Схема процесса *SepraDyne*.

При переработке смешанных отходов содержание общей ртути в конечном сухом продукте (остатке) составляет менее 10 мг/кг, а значения теста TCLP (для этого остатка) существенно ниже 0,025 мг/л (обычно составляют 0,008 мг/л и меньше). Одновременно происходит уменьшение конечного продукта на 25–40% от его начального объема (массы). Конечным продуктом («обезртученным» остатком) является (независимо от начальной матрицы) сухой гранулированный материал. В ряде случаев (в зависимости от свойств РСО) требуется их предварительная обработка для уменьшения размеров (измельчение). Вакуумная вращающаяся реторта может монтироваться на автономном прицепе (рис. 9). Производительность установки (по отходам) составляет 1000 фунтов в час (~ 454 кг/час). Как отмечалось выше, в США так называемый стандарт максимально достижимой технологии контроля для ртути составляет (в отходящих в атмосферу газах) 40 мкг/м³. При использовании данной технологии ее концентрации были обычно менее 10 мкг/м³ (во всех случаях эмиссия ртути с отходящими в атмосферу газами не превышала 29 мкг/м³).



Рис. 9 . Вакуумная вращающаяся реторта, смонтированная на прицепе.

4.2. Технологии иммобилизации ртути содержащих отходов

Шаблонные способы иммобилизации отходов обычно включают фиксацию содержащихся в них поллютантов (особенно металлов) с применением портландцемента и летучей золы [34]. Эта процедура позволяет создать непроницаемый барьер вокруг отходов, что ограничивает растворимость и выщелачиваемость содержащихся в них металлов. Однако такие способы трудно применимы для стабилизации ртути, поскольку процессы, основанные на использовании цемента и летучей золы, не формируют низкорастворимых твердых гидроксидов. Считается, что ртуть является одним из наиболее трудных для иммобилизации компонентов отходов. Исследования, выполненные в США, показывают, что в некоторых случаях стабилизирующие агенты скорее даже увеличивают, нежели уменьшают, выщелачиваемость ртути из отходов [55]. Тем не менее такие методы обезвреживания РСО получили достаточно широкое практическое применение во многих странах мира. Обычно стабилизации подвергаются только РСО (перед их размещением на свалках) с низким содержанием ртути (в американской терминологии – *low mercury subcategory wastes*), т. е. отходы с концентрацией ртути менее 260 мг/кг [58]. Уровни содержания ртути в экстрактах из стабилизированных отходов (тест TCLP) не должны превышать 0,2 мг/л.

В общем случае иммобилизация отходов включает стабилизацию, солидификацию, инкапсуляцию, амальгамацию.

Стабилизация (*Stabilization*) отходов – химическая иммобилизация опасных компонентов посредством химического связывания их в немобильную матрицу или химическая конверсия (перевод) поллютантов в немобильные формы, что существенно снижает вероятность их испарения или выщелачивания в окружающую среду. Синонимом стабилизации служит термин «химическая фиксация», а самым известным примером такого процесса – осаждение ртути в виде нерастворимого сульфида.

Солидификация (*Solidification*) отходов – процесс физического отверждения (отвердения) отходов, в результате которого происходит цементирование поллютантов и уменьшение поверхностной площади отходов, доступных для испарения или выщелачивания загрязняющих веществ.

В большинстве случаев оба процесса используются (протекают) одновременно, поэтому обычно говорят о технологии «стабилизации/солидификации» (в американской терминологии «S/S technology»).

Капсулирование (*Encapsulation*) – физическая иммобилизация опасных компонентов посредством облекания отходов в непоровый, непроницаемый материал. Если капсулируется массив отходов в целом, то говорят о макрокапсулировании; если капсулируется каждая частица тонкозернистых или высокодисперсных отходов, то говорят о микрокапсулировании. В сущности, капсулирование представляет собой своеобразную упаковку веществ или материалов в оболочку с получением капсул [12].

Амальгамация (*Amalgamation*) является разновидностью технологии стабилизации и используется (например, в США) только для связывания (иммобилизации) отходов металлической ртути с радиоактивным заражением.

Технология стабилизации/солидификации используется для обработки отходов элементарной ртути и ртутьсодержащих почв, шламов, других твердых и жидких отходов [55, 59]. Технология позволяет снизить мобильность (подвижность, миграционную способность) ртути (и многих других поллютантов) посредством физического связывания их внутри стабилизирующей массы или путем индицирования в загрязненный материал (массив) химических реагентов (рис. 10). Наиболее часто применяемые связывающие вещества и реагенты: цемент, полисульфид кальция, химически связанная фосфатная керамика, фосфаты, полиэфирные смолы, полимерные связующие, полисиликоновые смеси (компаунды), регулирующие pH агенты, дитиокарбамат натрия, метасиликат натрия, сульфид натрия, серный полимерный цемент. Основные факторы, влияющие на протекание и стоимость процесса «S/S technology»: pH и редокс-потенциал, характеристики отходов, гранулометрия (размер слагающих отходы частиц), эффективность смешивания, тип связующего и реагента, влажность обрабатываемого материала, масштабы применения, состояние окисления ртути, количество (содержание) ртути в отходах.

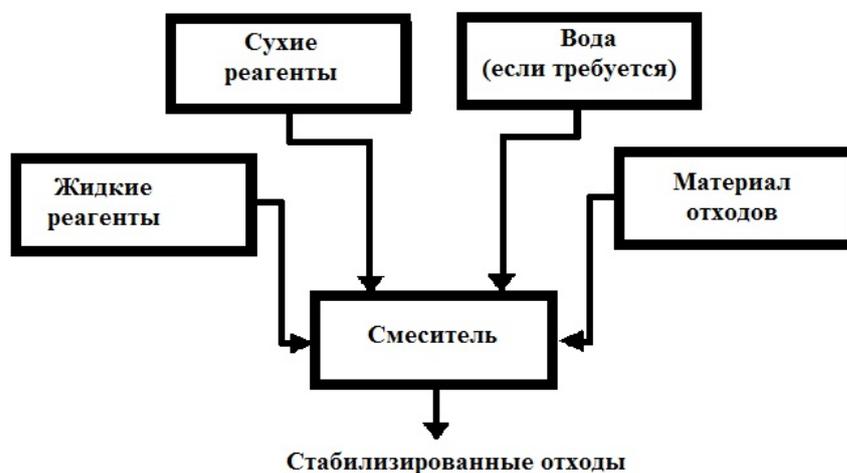


Рис. 10. Общая схема стабилизации отходов.

В США технология S/S широко применяется в программе Суперфонда [44, 50]. В частности, к середине 2000 г. она была использована на 167 загрязненных участках для обработки отходов с разнообразным кругом поллютантов – от тяжелых металлов до органических веществ, в том числе, имелось 7 завершенных проектов, в которых обрабатывались РСО.

Стабилизация отходов цементированием (с использованием цемента) достаточно широко распространена (по крайней мере, до недавних пор), но считается, что она не полностью стабилизирует ртуть или ее соли [55]. В то же время исследования свидетельствуют о том, что этот способ может быть перспективным для долговременной стабилизации ртути и ее соединений,

особенно при комбинировании различных цементирующих (связывающих) веществ. Наиболее перспективно использование различных пуццолановых материалов, обладающих цементирующими свойствами в воде при их смешивании с несвязанной известью. Примерами таких материалов являются печная пыль и летучая зола, некоторые вулканические породы и промышленные субпродукты (гранулированный доменный шлак, кварцевая пыль), синтетический минерал «Xtaltite™». Могут также использоваться пуццолановый цемент и смеси с портландцементом. В частности, известны примеры удачной стабилизации (в лабораторных условиях и пилотных проектах) загрязненных ртутью почв портландцементом. В США полномасштабные коммерческие технологии, основанные на комбинации портландцемента и пуццолановой извести, широко применяются для стабилизации и солидификации твердых (неводных) РСО. По данным [55], в США таким способом в 1993 г. было обработано более 119000 т РСО, в 1998 г. – 124000 т.

Для стабилизации РСО могут использоваться сульфиды или другая химическая фиксация, но в данном случае процессы стабилизации зависят от pH и могут иммобилизовать ртуть на не очень длительное время. Для химической фиксации плохо растворимых форм ртути (например, сульфида ртути) оптимальное значение pH составляет 4–8. При высоких pH более растворимы сульфат ртути (1) (Hg_2SO_4), сульфат ртути (2) ($HgSO_4$) и комплексное соединение $HgS(H_2S)_2$, которые образуются в зависимости от окислительно-восстановительных условий. При низких значениях pH из отходов может выделяться сернистый газ. Считается, что в данном случае эффективно комбинирование стабилизации с макрокапсулированием. Обработанный серой полимерцемент используется одновременно для превращения соединений ртути в сульфид ртути и капсулирования [55]. Эксперименты показали, что для стабилизации сульфида ртути наиболее эффективно применение полисульфидов кальция (CaS_x) и хлоридов, а для стабилизации элементарной ртути, фенил-хлорид-ртути – дитиокарбамата натрия и полисульфидов кальция [29] (табл. 8).

Таблица 8

Результаты тестов отходов

Соединение ртути	Тест TCLP до обработки, мг/кг	Стабилизационные реагенты/рецептура	Тест TCLP после обработки, мг/кг
HgS	0,0016	Нет данных	Нет данных
Хлорид ртути	9,8	Корректировка pH до 5 0,5% полисульфида кальция 5% портландцемента	< 0,00020
Оксид ртути	10	Корректировка pH до 5 0,5% полисульфида кальция 5% портландцемента	0,00030
Элементарная ртуть	0,36	Корректировка pH до 5 1% полисульфида кальция 5% портландцемента	0,00055
Фенил-хлорид-ртути C_6H_5HgCl	11	Корректировка pH до 5 1,21% препарата TMT 15 *	0,029

* Препарат TMT 15 (IT Corporation) – 15%-ный раствор соли «2,3,6 trimercapto-S-tnazine trisodium».

На завод «Borden Chemicals and Plastics» (США, г. Гейсмар, шт. Луизиана), который производит, среди других продуктов, винилхлорид, были выполнены исследования по химической стабилизации отработанного катализатора (хлорида ртути, сулемы) [51]. Химическая стабилизация отработанного катализатора (с содержанием ртути до 20800–22300 мг/кг) осуществлялась в водной среде путем обработки его стабилизирующими агентами, в качестве которых использовались сульфид натрия и фосфат натрия, что позволяло существенно снижать количество ртути, экстрагируемой из полученного материала (по тесту TCLP).

Метод капсулирования РСО к настоящему времени уже опробован в лабораторных условиях, пилотных и полномасштабных проектах [29, 49]. Как уже отмечалось, главной целью

капсулирования является физическая иммобилизация отходов для предотвращения контакта с выщелачивающими агентами (прежде всего, с водой). Технологии капсулирования основываются в первую очередь на процессах отверждения (солидификации), которые существенно уменьшают поверхность воздействия для потенциальной среды выщелачивания. Они могут сочетать комбинацию физического захвата посредством отверждения или химическую стабилизацию посредством осаждения, адсорбции или других взаимодействий. Опасные отходы, в том числе РСО, могут быть капсулированы двумя путями: микрокапсулированием или макрокапсулированием. Необходимые для капсулирования данные по отходам включают как физические (прочностные свойства, плотность, проницаемость), так и химические (выщелачиваемость) характеристики. Физические характеристики важны для макрокапсулирования. Для микрокапсулируемых отходов важную роль играет тест TCLP, определяющий возможность размещения их на свалках.

Микрокапсулирование включает смешивание отходов совместно с обволакивающим материалом, прежде чем солидификация имеет место [29, 49]. В принципе, микрокапсулирование сводится к заключению небольших количеств какого-либо вещества в оболочку пленкообразующего материала (микрокапсулу), причем содержимое микрокапсул может находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии и представлять собой индивидуальное вещество или смесь [13]. Оболочка микрокапсул может быть одно- или многослойной, а в зависимости от свойств образующего ее вещества – эластичной или жесткой. Макрокапсулирование включает заливку обволакивающего материала над или вокруг большой массы отходов, благодаря чему он обволакивается в твердый блок [29, 49]. Иногда эти процессы комбинируют. Материалы, используемые для капсулирования, должны быть химически совместимы с опасными отходами и инертны к условиям окружающей среды, которые могут встречаться на свалках (инфильтрация осадков, воздействие подземных вод, замораживание/оттаивание и др.).

Для капсулирования обычно используются следующие материалы: асфальт, битум, полиэфирные (полиэстеровые) и эпоксидные смолы, синтетические эластомеры, полисилоксаны, золь-гели (*polycerams*), «DolocreteTM», угольно-цементные смеси и др. Асфальт или битум могут использоваться для микрокапсулирования загрязненных почв с низким уровнем металлов. Известен способ капсулирования РСО в эмульгированный асфальт (асфальтовую эмульсию) [55]. Есть примеры применения холодной смеси асфальта для микрокапсулирования почв с содержанием ртути в 78 мг/кг. Полиэфирные (полиэстеровые) и эпоксидные смолы пригодны как для макрокапсулирования, так и для микрокапсулирования РСО [49]. Синтетические эластомеры могут использоваться для микрокапсулирования и стабилизации содержащих металлы отходов. Плисилоксан (кремнийорганический полимер) или кремнийсиликоновая пена, состоит (по массе) из 50% винил-полидиметил-силоксана, 20% кремнезема, 25% патентованных ингредиентов и менее 5% воды. Есть патент на его использование для капсулирования отходов. Так называемые золь-гели представляют собой гибридный материал (смесь), полученный при химической комбинации органических полимеров и неорганической керамики. «DolocreteTM» – патентованное кальцинированно-доломитизированное связующее вещество, которое может использоваться для микрокапсулирования неорганических, органических и низкорadioактивных отходов. Есть сведения, что при использовании его для микрокапсулирования РСО (содержащих 15300 мг/кг ртути) значение теста TCLP снижалось для ртути до менее 0,1 мг/л.

В последние годы особенно широкое развитие получили следующие технологии иммобилизации отходов (включая РСО):

- серно-полимерная стабилизация/солидификация (*sulfur polymer stabilization/solidification, SPSS*),
- капсулирование химическим связыванием фосфатной керамикой (химическое связывание ртути фосфатной керамикой) (*chemically bonded phosphate ceramic encapsulation, CBPC*),
- капсулирование полиэтиленом (*polyethylene encapsulation*).

Серно-полимерная стабилизация/солидификация (SPSS) используется для конвертирования ртутных соединений в плохо растворимый HgS и одновременно для капсулирования отходов [28, 49]. В этом процессе используется специальный термопластический материал, содержащий (по массе) 95% элементарной серы и 5% органических модификаторов (дициклопентадиен и олигомеры циклопентадиена). Этот материал описывается в литературе как сернистый (серный) полимерцемент, хотя и не является связующим (цементирующим) материалом; он плавится примерно при 235°F и быстро охлаждается; обладает механической прочностью и устойчив к резким воздействиям окружающей среды (высокому содержанию минеральных кислот, коррозионных электролитов, растворов солей). Для макрокапсулирования жидкий полимерцемент заливается над и вокруг отходов и образует из них своеобразный монолит. Рекомендуемая температура смешивания – 260–280°F. Использование полимерцемента позволяет существенно усилить механическую однородность и устойчивость матрицы отходов (рис. 11, 12).

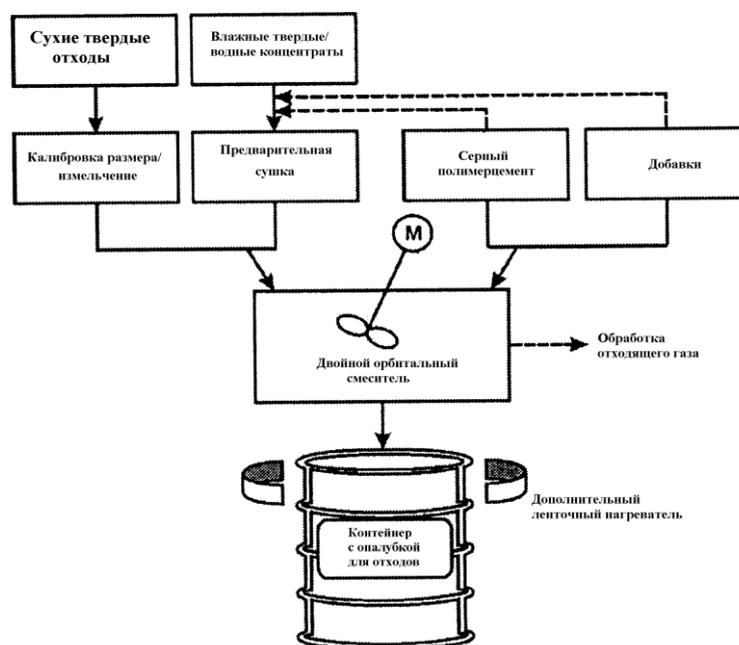


Рис. 11. Капсулирование отходов полимерцементом.



Рис. 12 . Объемное сравнение компонентов шихты (три емкости слева) и конечного продукта (одна емкость справа) [42].

Для капсулирования жидкой ртути используется двухэтапный процесс [42, 49]. Прежде всего, элементарная ртуть смешивается в нагретом реакционном чане (резервуаре) при 104°F с порошкообразным полимерцементом. Другие агенты стабилизации (сульфид натрия или триизобутилфосфинсульфид (Суапех 471X) могут добавлять в течение этого этапа, в ходе которого образуется HgS. Инертный атмосферный газ используется для предотвращения образования в чане оксидов ртути. На втором этапе добавляется дополнительный цемент; затем смесь нагревается до 266°F, чтобы сформировалась гомогенная расплавленная жидкость, которая заливается в форму и образуется монолит. Обработка образующихся отходящих газов осуществляется по следующей схеме (рис. 13).

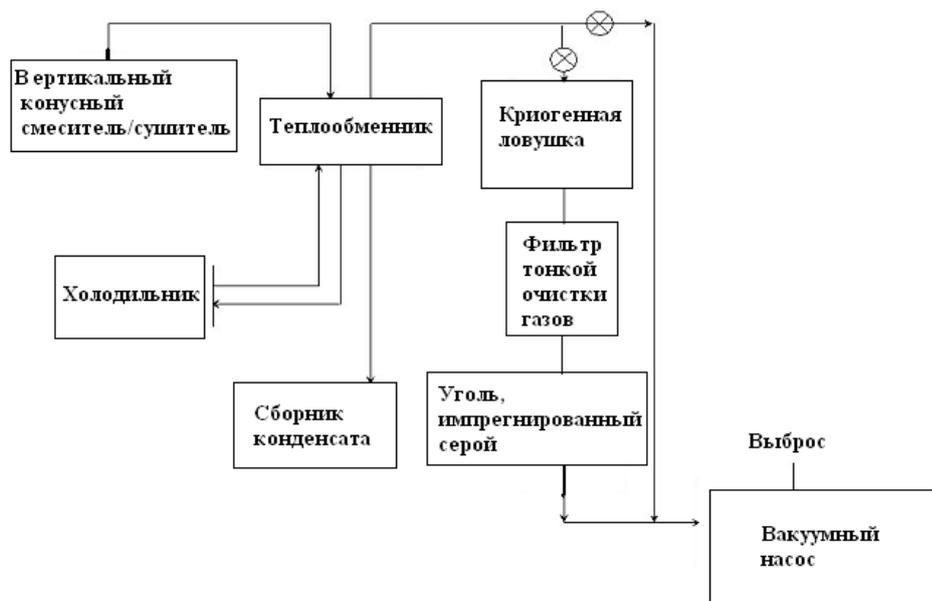


Рис. 13. Схема обработки отходящих газов при SPSS.

К достоинствам способа SPSS относятся:

- возможность обработки отходов с высоким содержанием ртути, включая жидкую ртуть;
- относительно низкотемпературный процесс (260–280°F);
- высокая водонепроницаемость (т. е. низкий коэффициент фильтрации и низкая пористость) образующегося монолита (в сравнение с портландцементом);
- высокая устойчивость к агрессивным агентам и процессам окружающей среды (кислотам и солям);
- высокая механическая прочность стабилизированных отходов;
- относительная простота применения способа;
- используемый термопластический материал (полимерцемент) более удобен в применении, нежели другие термопластики (подобные полиэтилену), из-за его вязкости и низкой температуры плавления;
- способность полимерцемента переплавляться и переформулироваться.

Ограничения способа:

- возможное улетучивание (потери) ртути с отходящими газами, что обуславливает необходимость их контроля и очистки;
- влажные отходы должны быть обезвожены;
- при быстром охлаждении полимерцемент может формировать пустоты и воздушные карманы;

- металлические остатки и детали с большой термальной массой могут нуждаться в дополнительном нагревании для предотвращения образования воздушных карманов;
- стабилизированные отходы не совместимы с сильно щелочными растворами ($> 10\%$), сильными окисляющими агентами, ароматическими или хлорированными сольвентами, набухающими глинами;
- процесс требует инженерного контроля для предотвращения возможных возмущений и взрыва;
- при чрезмерных температурах полимерцемент способен эмитировать сероводород и пары серы.

Иммобилизация (капсулирование) отходов химическим связыванием фосфатной керамикой (химическое связывание ртути фосфатной керамикой) [49, 60]. Фосфатная керамика является очень подходящим материалом, поскольку солидификация происходит при низких температурах и в широком диапазоне pH. Подобно полимерцементу успешная обработка с керамикой происходит благодаря как химической стабилизации, так и физическому капсулированию. Как известно, фосфатная керамика (или керамический наномонолит) представляет собой порошкообразную смесь фосфата и оксида металла, которая при соединении с водой образует пастообразный цементный раствор. Такой материал обладает высокой прочностью и огнестойкостью, высоким сопротивлением химическому разложению и замерзанию. В отличие от традиционного бетона, он отвердевает даже под водой. По своим свойствам фосфатная керамика превосходит привычный цемент. Фосфатная керамика используется, например, для иммобилизации радиоактивных отходов [2, 8]. Процесс иммобилизации РСО с использованием фосфатной керамики осуществляется в водном растворе, где происходит реакция (взаимодействие) MgO и KH_2PO_4 [60]. Твердые или жидкие отходы добавляются в течение смешивания этих двух компонентов. Ртуть фиксируется в виде $Hg_3(PO_4)_2$. Поскольку реакция происходит в водном растворе, то не исключено также образование гидрофосфатов (например, таких как $HgHPO_4$). Для дополнительной стабилизации ртути требуется добавление небольшого количества (не более 1 масс%) Na_2S или K_2S , что является достаточным для связывающей композиции (рис. 14).

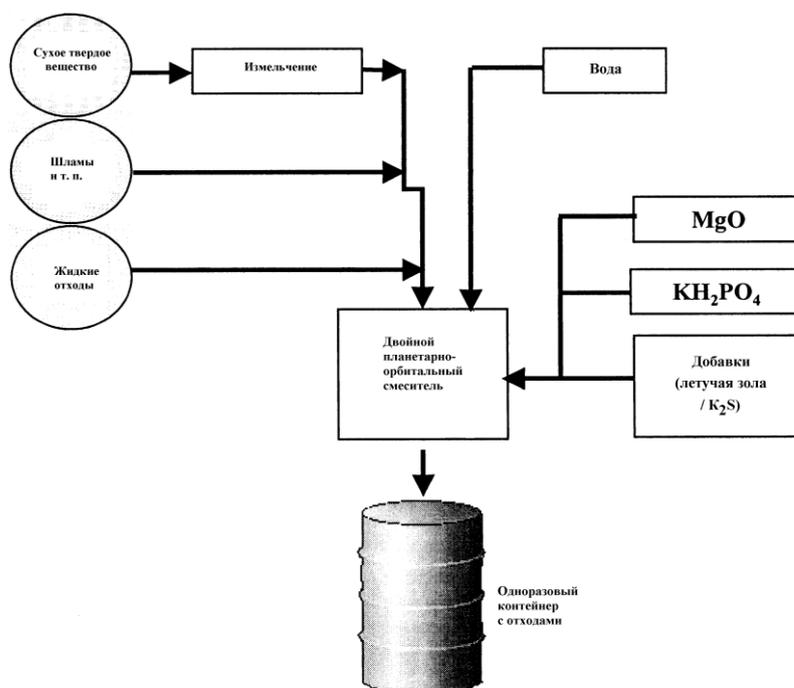


Рис. 14. Схема иммобилизации РСО фосфатной керамикой.

Достоинствами данного способа иммобилизации РСО являются [60]:

- возможность обработки отходов с высоким содержанием ртути, включая жидкую ртуть;
- низкотемпературный процесс – $\sim 176^{\circ}\text{F}$ (ниже, чем при SPSS или капсулировании полиэтиленом);
- обработка как сухих твердых отходов, так и шламов и жидкостей;
- не требует дополнительного тепла;
- высокая (превосходная) водонепроницаемость (т. е. низкий коэффициент фильтрации и низкая пористость) образующегося монолита (в сравнение с портландцементом);
- простота применения;
- в ходе применения способа образуется негорючий материал, устойчивый к воздействию окисляющих солей;
- не генерирует вторичные отходы или потенциально опасные отходящие газы.

Ограничения (недостатки) способа:

- предварительная обработка отходов K_2S или другими соединениями, необходимая для стабилизации ртути (т. е. применение только фосфатной керамики недостаточно);
- избыток сульфида способен увеличивать выщелачиваемость ртути;
- некоторые компоненты отходов (например, гематит) могут ускорять время отверждения отходов и снижать пригодность жидкого раствора фосфатной керамики;
- имеются ограниченные данные по продолжительности эффективности и устойчивости обработанных форм отходов;
- выщелачивание анионов солей с течением времени ухудшает цельность отходов с большим содержанием солей.

Капсулирование полиэтиленом является, судя по всему, очень перспективным способом иммобилизации многих видов отходов, в том числе РСО (рис. 15) [49]. Как известно, полиэтилен плавится и становится жидким при 248°F . Он физически капсулирует отходы и после этого химически с ними не взаимодействует.

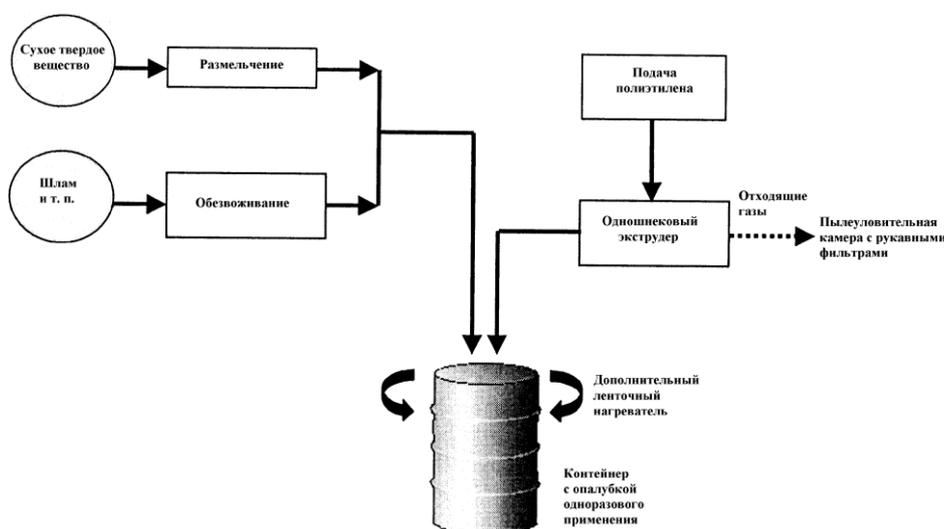


Рис. 15. Схема макрокапсулирования отходов полиэтиленом.

Макрокапсулирование обычно включает использование корзины, помещенной внутри металлической бочки с созданием по крайней мере 1-дюймового барьера вокруг отходов. Затем расплавленный полиэтилен заливается в бочку. Микрокапсулирование полиэтиленом обычно включает прямое смешивание отходов и полиэтилена обычно при температуре $248\text{--}302^{\circ}\text{F}$ в экструдере. Необходимые для капсулирования отходов данные включают их как физические (со-

противление деформированию, плотность, проницаемость), так и химические характеристики (выщелачиваемость).

Достоинствами данного способа являются [49]:

- полиэтилен обладает высокой механической прочностью, гибкостью и химической устойчивостью;
- средства капсулирования коммерчески доступны, а процесс может быть автоматизирован;
- возможность использования полиэтилена после его первого (для других целей) применения («использование «вторичного» полиэтилена»);
- могут использоваться (по экономическим соображениям) непромышленно изготовленные емкости и контейнеры;
- полиэтилен используется на свалках для закладки отходов и хорошо известны его химическая устойчивость и временная устойчивость.

Ограничения способа:

- используется наиболее высокий (по сравнению с выше рассмотренными способами) температурный процесс;
- высокая температура может создавать проблемы при капсулировании отходов с Hg и As;
- полиэтилен химически не связывает отходы, поэтому не исключено потенциальное улетучивание и выщелачиваемость ртути;
- отходы могут нуждаться в предварительном удалении влаги и(или) достижении адекватных размеров частиц (в измельчении).

На известном (и уже отработанном) ртутном месторождении Сульфур-Бенк (США, шт. Калифорния) проводятся исследования возможности применения для ремедиации загрязненных территорий и обработки отходов (с содержаниями общей ртути от 35 до 1000 мг/кг) трех технологий иммобилизации [52]:

- технология силикатного микрокапсулирования и капсулирование поллютантов в непроницаемую микроскопическую силикатную (кремниевую) матрицу с целью изолирования ртути и других металлов от их возможного выщелачивания в окружающую среду;
- технология неорганической сульфидной стабилизации металлов (сульфидного связывания металлов с матрицей);
- общая фосфатная обработка отходов, которая формирует нерастворимые фосфатные соли, изолируя тем самым металлы от воздействия факторов окружающей среды.

Амальгамация, как способ физической стабилизации элементарной ртути, является своеобразной разновидностью технологии солидификации и используется (например, в США) только для связывания (стабилизации) отходов металлической ртути с радиоактивным заражением [37, 55, 59]. Более того, АООС США определяет амальгамацию (стандартный метод AMLGM) как лучшую доступную технологию для переработки элементарной ртути, загрязненной радиоактивными материалами [41]. Амальгамацию элементарной (жидкой) ртути, загрязненной радиоактивными материалами, АООС США рекомендует осуществлять с использованием таких неорганических агентов, как медь, цинк, никель, золото и сера, в результате чего образуется нежидкая, полутвердая амальгама, благодаря чему снижается потенциальная эмиссия паров ртути в воздух (рис. 16). Данный процесс осуществляется в устройствах-смесителях типа мешалки, шнека-смесителя, глиноболтушки.

4.3. Гидрометаллургические способы

Классификация опасных отходов, принятая в США (*US EPA hazardous waste classification*), рекомендует для переработки ртутьсодержащих шламов гидрометаллургические способы (способы химического, кислотного выщелачивания). Нередко эти способы предлагаются в ка-

честве альтернативных стандартному способу сжигания органических РСО (отходов с высоким содержанием органики). Химическое (кислотное) выщелачивание является водным процессом, который зависит от способности выщелачивающих растворов растворять ртуть и удалять ее из матрицы отходов. Растворенная ртуть отделяется от твердой фазы и может удаляться при дальнейшей обработке (осаждение, ионный обмен, адсорбция углем). Этот процесс эффективен для удаления неорганических форм ртути из неорганической матрицы отходов. Преципитаты могут как размещаться на свалках, так и подвергаться дальнейшей переработке в ретортах. Менее эффективен способ выщелачивания для удаления инактивной элементарной ртути.

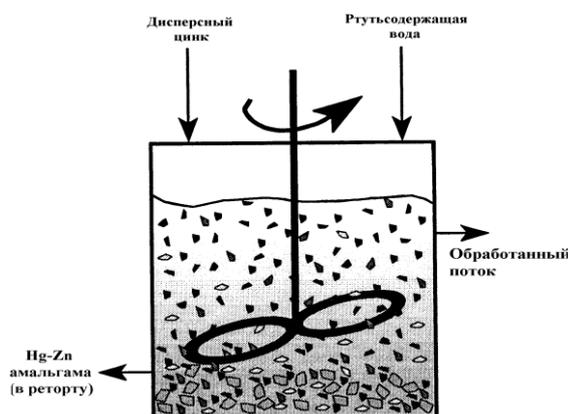


Рис. 16. Схема амальгамации ртутьсодержащих жидких отходов.

Практически все виды гидрометаллургических способов утилизации РСО требуют их предварительной обработки, необходимой для перевода всей ртути в раствор и перевода ее в двухвалентное состояние для лучшей эффективности процесса [55]. Из водных растворов ртуть может осаждаться посредством окисления двухвалентной ртути Hg^{2+} и осаждения как сульфида ртути при использовании сульфида натрия Na_2S или $NaHS$. Сульфид ртути плохо растворим в воде (табл. 9). Для осаждения солей ртути из щелочных растворов используют также сульфид калия или полисульфид кальция. Поскольку избыток щелочи или щелочного сульфида увеличивает растворимость сульфида ртути, поэтому только малый избыток растворимой соли сульфида используется для осаждения. Эффективность удаления ртути может достигать 95%. Стоимость осаждения сульфида ртути составляет около 100–200 долл. США на 1 т отходов.

Таблица 9

Растворимость некоторых промышленных соединений ртути *

Соединение	Формула	Растворимость, мг/л
Сульфид ртути (<i>mercuric sulfide</i>)	HgS	0,0125
Хлорид ртути (1), хлористая ртуть, каломель (<i>mercurous chloride</i>)	Hg_2Cl_2	2
Хлорид ртути (2), дихлорид ртути, сулема (<i>mercuric chloride</i>)	$HgCl_2$	7000
Сульфат ртути (1) (<i>mercurous sulfate</i>)	Hg_2SO_4	500 мг/кг

* Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, Volume 16. John Wiley & Sons, New York. pp. 228–243.

В идеале гидрометаллургические способы способны снижать содержания ртути от начальных в отходах в 3–10% до менее 50 мг/кг в остаточном материале, что позволяет достичь концентрации ртути в экстракте из него, отвечающей требованиям теста TCLP (< 25 мкг/л). Считается, что этот метод может эффективно применяться на хлорно-щелочных заводах, где образуется 110–180 т в год шламов с содержанием ртути от 3–4 до 8–10%.

В частности, в США гидрометаллургический способ переработки ртутных отходов хлорно-щелочного производства (стандартный метод REMERC) используется на трех заводах [30].

Способ включает двустадийную процедуру выщелачивания. Первая стадия выщелачивания осуществляется в вертикальной промывной башне (сгустителе) при слабокислых рН и использует гипохлорит натрия для экстракции ртути. Поверхностный раствор из этой башни поступает на стадию цементации. Сгущенный остаток из башни содержит около 300 мг/кг ртути и направляется на вторую стадию выщелачивания, которая идентична первой, но проводится при более кислых значениях рН. Во второй вертикальной промывной башне промывка продуктов производится отработанным раствором от первой стадии или раствором от цементации. Остаточный осадок обычно содержит менее 100 мг/кг ртути (что соответствует удалению общей ртути более чем на 99%). Остаток обезвоживается на вращающемся (карусельном) вакуум-фильтре. Верхний слой раствора возвращается в первую башню для использования в качестве промывного флюида. Избыточный (верхний) поток из первой башни содержит от 1000 до 2000 мг/л ртути. Значения рН раствора варьируются от 2 до 4 (до поступления на стадию цементации). На стадии цементации раствор смешивается с железным ломом в ротационном контакторе. Ртуть цементируется на поверхности железа, что (за 30 мин. контакта) снижает ее концентрацию в растворе до 1 мг/л. Очищающее действие контактора является следствием формирования рыхлой (слабой, неустойчивой) амальгамы. Фильтр-пресс обезвоживает и промывает цемент перед его упаковкой в полиэтиленовые бочки. Остаточный раствор со стадии цементации может окисляться, обрабатываться для удаления железа и возвращаться во вторую промывочную башню.

4.4. Другие способы

Для переработки РСО, как свидетельствуют работы, выполненные в ходе рециклинга и утилизации материалов, обнаруженных на полигонах (участках) Суперфонда США, потенциально возможно также использование биовосстановления (биоредукции) ртути, физической сепарации, витрификации, последовательного применения окисления, выщелачивания и осаждения [37]. Биовосстановление (биоредукция) ртути является биохимическим способом восстановления металлической ртути для ее повторного использования путем переработки загрязненных почв, шламов, отложений и жидкостей (рис. 17).

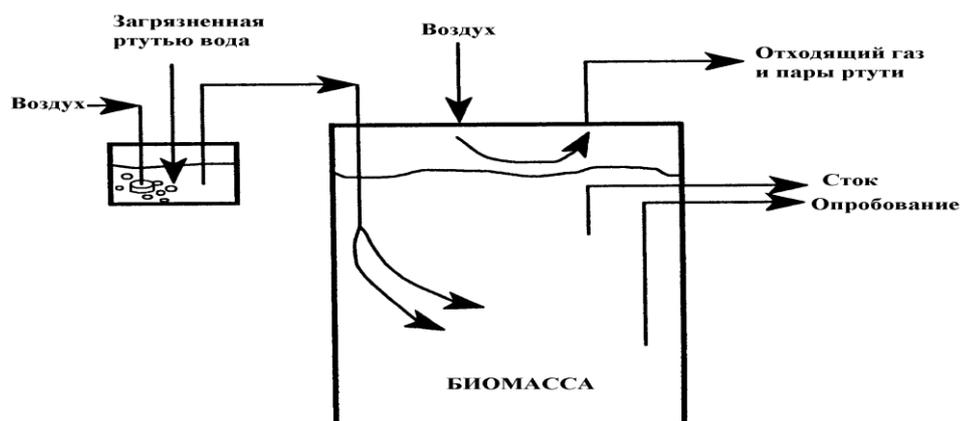


Рис. 17. Схема биоредукции ртути.

К способам физической сепарации относятся фильтрация и микрофильтрация (используются размеры частиц), седиментация или центрифугирование (плотность частиц), магнитная сепарация (магнитные свойства), флотация (свойства поверхности частиц).

В качестве метода, альтернативного сжиганию органических РСО, рекомендуется химическое окисление [30]. Целью химического окисления элементарной ртути и ртутьорганических

соединений является разрушение органики и конверсия растворимых форм ртути (таких, например, как HgCl_2 или HgI_2), которые могут быть отделены от матрицы отходов и затем обработаны. В качестве окисляющих агентов в этих процессах используются гипохлорит натрия, озон, перекись водорода, диоксид хлора, свободный хлор (газ), патентованные реагенты. Химическое окисление может осуществляться как непрерывный или как одноразовый (периодический) процесс в смесительном танке или в реакторе с пульсирующим потоком (реакторе идеального вытеснения). Типичная продолжительность взаимодействия составляет от 60 до 120 мин. Использование окисления для образования галоидных соединений ртути эффективно при обработке РСО. Указанные реагенты используются также для окисления многих органических поллютантов, включая фенолы, бензол, пестициды, хлорированные растворители, ПАУ.

В целом можно считать, что к настоящему времени в той или иной мере практическое использование получило достаточно большое количество разнообразных способов переработки (обезвреживания) РСО. С этой точки зрения показательны данные табл. 10.

5. Использование ртутьсодержащих отходов и материалов в сельском хозяйстве в качестве агроメリорантов

В странах ЕС использование осадков сточных вод (ОСВ) в сельском хозяйстве регулируется Директивой 86/278/ЕЕС. В частности, ОСВ применяются на почвах с концентрациями ртути в пределах 1–1,5 мг/кг сухой массы и рН 6–7.

Согласно [36], в Польше предельное содержание ртути в непромышленных ОС, используемых на сельскохозяйственных землях, установлено в 5 мг/кг, применяемых для растительной рекультивации земель – 25 мг/кг. В Венгрии и Хорватии предельное содержание ртути в компосте из твердых бытовых отходов, используемого в сельском хозяйстве, составляет 10 мг/кг. В Германии предельное содержание ртути в ОСВ, используемых в сельском хозяйстве, установлено в 8 мг/кг сухой массы при использовании не более 5 т осадков (сухая масса) на 1 га в течение 3-х лет. Если содержание ртути в почвах превышает 1 мг/кг, то ООС не применяются. Для биологических отходов (компостов) при применении менее 20 т на 1 га за 3 года предельная концентрация ртути составляет 1 мг/кг сухой массы, от 20 т до 30 т компоста на 1 га за 3 года – 0,7 мг/кг сухой массы. В Норвегии предельное содержание ртути в ОСВ, используемых как удобрения на агроземлях, составляет 3 мг/кг, на прочих землях – 5 мг/кг. ОСВ не применяются на почвах с содержанием ртути более 1 мг/кг. В Финляндии предельное содержание ртути в ОСВ, используемых в сельском хозяйстве, установлено в 1 мг/кг сухой массы. Во Франции максимальный уровень ртути в ОСВ, используемых в сельском хозяйстве, установлен в 10 мг/кг сухой массы, максимальная нагрузка ртутью при более 10-летнем применении ОСВ – не более 0,015 г/м². В Швейцарии предельное содержание ртути в ОСВ, используемых в сельском хозяйстве, составляет 5 мг/кг, в компосте – не более 1 мг/кг. В Швеции предельные нормативы ртути в ОСВ составляют 2,5 мг/кг сухой массы и не более 1,5 г/га в год. В Китае предельное содержание ртути в городских отходах, используемых в сельском хозяйстве (стандарт GB 18172-86), составляет 5 мг/кг, а предельное содержание ртути в ОСВ, используемых в сельском хозяйстве (стандарт GB 4284-84), при рН < 6,5 составляет 5 мг/кг, при рН ≥ 6,5 – 15 мг/кг.

В США установлены следующие предельные содержания (стандарты) ртути в ОСВ [36]:

- 17 мг/кг сухой массы и 17 кг/га суммарной нагрузки при использовании в сельском хозяйстве, лесах и на общедоступных землях;
- 17 мг/кг (сухой массы) и 0,85 кг/га ежегодной нагрузки на газонах и в садах;
- 57 мг/кг (сухой массы) на других типах земельного размещения;
- 100 г/кг (сухой массы) при размещении в герметичных и негерметичных устройствах.

Таблица 10

Переработка РСО в США в 1993 и 1995 гг. [31]

Метод	Описание	1993 г., т	1995 г., т
Извлечение металла (для повторного использования)	Высокотемпературная переработка	6,42	5,95
	Дистилляция	1572,24	3202,51
	Другие способы извлечения: ионный обмен, обратный осмос, кислотное выщелачивание и др.	1873,75	1655,56
	Неизвестные типы	74,96	219,84
Регенерация растворов	Фракционирование / дистилляция	154,09	716,42
	Тонкопленочное выпаривание	5599,45	4274,01
	Экстракция растворителями		36,13
	Регенерация растворителей	0,13	
	Неизвестные типы	566,45	
Другое извлечение	Другое извлечение: сепарация некондиционных нефтепродуктов (восстановление отходов нефти), восстановление нерастворимой органики и др.	578,53	91036,37
	Неизвестные типы	325631,94	123,67
Сжигание	Жидкие отходы	28389,47	40773,57
	Шламы	1103,42	2938,06
	Твердые	16918,22	42516,08
	Газы	4,73	55,15
	Неизвестные типы	7,76	117,22
Утилизация как топливо	Жидкие отходы	141779,41	360969,85
	Шламы	234,00	14,24
	Твердые	7004,498	19014,83
Топливная смесь	Топливная смесь	128209,87	122657,00
Водная неорганическая обработка	Восстановление хромом с последующим химическим осаждением	490,11	2745,74
	Деструкция цианидом с последующим химическим осаждением	98,34	525,81
	Только деструкция цианидом	0,19	2,03
	Химическое окисление с последующим химическим осаждением	252804,09	26324,34
	Химическое осаждение	3001466,22	2871509,25
	Другие способы: ионный обмен, обратный осмос и др.	2831268,51	2188217,24
Водная органическая обработка	Неизвестные типы	16,62	10,06
	Биологическая обработка	25266,66	768727,25
	Адсорбция активированным углем	315211,97	1534,04
	Десорбирование воздухом / потоком жидкости		1475699,20
	Другие способы	1456,40	3393,42
	Неизвестные типы	24,17	
Водная органическая и неорганическая обработка	Химическое осаждение в комбинации с биообработкой	1589265,17	844581,92
	Химическое осаждение в комбинации с адсорбцией активированным углем	13362,71	3300,79
	Другие способы	10855,37	7124,38
	Неизвестные типы	3705,56	530,73
Переработка шлама	Обезвоживание шлама	585,41	31,94
	Добавка избытка извести	8,79	
Стабилизация	Стабилизация / химическая фиксация с использованием цементирующих и/или зольных материалов	132242,17	132744,42
	Другие способы стабилизации	3676,44	1684,40
	Неизвестные способы стабилизации		2,76
Другая обработка	Только нейтрализация	12335,62	1467164,85
	Только выпаривание (отгонка)	876351,65	1142,53
	Фазовое разделение (деэмульгирование, фильтрация)	11035,60	4678,52
	Другие методы	316659,97	1003107,28
	Неизвестные	3250,24	121,69
Размещение	Свалки	135780,76	160505,24
	Скважины / подземное инжектирование	1865636,25	864072,60
	Прямой сброс в канализацию/общественные очистные сооружения (без предварительной обработки)	150232,47	45,55
	Прямой сброс в поверхностные воды (без предварительной обработки)		1130587,99
	Прочее размещение	475126,00	351469,52
Перемещение на склад			103779,72

В Канаде предельное содержание ртути в компосте из твердых бытовых отходов, используемого в сельском хозяйстве, составляет 5 мг/кг, максимальная концентрация ртути в стандартных удобрениях не должна превышать 5 мг/кг, а максимальная общая добавка ртути в почву – 1 кг/га. В Панаме предельная концентрация ртути в ОСВ, используемых в производстве удобрений, составляет 57 мг/кг, а для применяемых в сельском хозяйстве – 25 мг/кг, предельная нагрузка ртутью – 0,85 кг/га/год [36].

В России нормативный (предельный) уровень содержания ртути в осадках сточных вод, используемых в сельском хозяйстве в качестве удобрений – не более 15 мг/кг (СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения»). «ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» различает ОСВ I группы (используют под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники) и ОСВ II группы (используют под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры), в которых допустимое валовое содержание ртути составляет 10 и 20 мг/кг сухой массы соответственно. ОСВ обеих групп также используют в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов ТБО. Естественно, что в каждом случае учитываются суммарную и разовую дозы внесения ОСВ, которые рассчитываются (по специальным формулам, приводимых в ГОСТ'e) с учетом фактического содержания нормируемых веществ в осадках и почве. При внесении ОСВ в расчетных дозах качество выращиваемой агропродукции должно соответствовать существующим требованиям. Как в СанПиН 2.1.7.573-96, так и в ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 речь идет об ОСВ, образующихся в процессе очистки хозяйственно-бытовых, городских (смеси хозяйственно-бытовых и производственных), а также близких к ним по составу производственных сточных вод. Нормативы и стандарты не распространяются на осадки производственных предприятий (целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической и др. промышленности), в сточных водах которых могут содержаться токсичные органические вещества 1-го и 2-го классов опасности в количествах, превышающих их ПДК в воде водных объектов. ОСВ целого ряда российских города отличаются достаточно высокими средними концентрациями ртути, например, Клин – 220 мг/кг, Коломна – 10 мг/кг, Саранск – 4 мг/кг, Москва – 1,3-1,8 мг/кг, Санкт-Петербург – 1,6 мг/кг [15]. В большинстве случаев ОСВ либо хранятся на иловых картах, расположенных вблизи очистных сооружений, либо вывозятся на свалки и в карьеры без какого-либо ограничения.

Заключение

Многие развитые страны мира пришли к заключению о необходимости усиления государственного регулирования в области сбора и переработки отходов, включая РСО, и о том, что ответственность за управление отходами должна быть в существенной мере сконцентрирована на национальном уровне. В структуре государственного аппарата стран ЕС имеются специально уполномоченные для этого органы. Как справедливо отмечено в [5], в России вопросы организации сбора и переработки отходов остаются фактически бесхозными, поскольку не входят в перечень полномочий ни одного из федеральных ведомств. Например, МПР РФ контролируют (по крайней мере, формально) в основном только негативное воздействие отходов на окружающую среду. Органы местного самоуправления, на которые в законодательном порядке возложена вся ответственность за организацию сбора и переработки отходов, не в состоянии решить эту задачу в отношении «нерентабельных» отходов до тех пор, пока не будет реформирована (полностью преобразована) система государственного регулирования в этой области. За рубежом все более широкие масштабы принимает практика государственного нормирования уровня сбора и переработки наиболее распространенных (в том числе, опасных) видов отходов.

Обычно эта задача решается в рамках государственных (национальных) программ с выделением существенных финансовых ресурсов на эти цели. В соответствии с 6-й программой действий ЕС в области окружающей среды была поставлена задача снизить в странах ЕС к 2010 г. количество захораниваемых отходов на 20% (по сравнению с 2000 г.), а к 2020 г. – на 50%. В России с 2005 г. отменена подпрограмма «Отходы» ФЦП «Экология и природные ресурсы», в рамках которой хотя бы отчасти могли решаться некоторые проблемы сбора, переработки и обезвреживания отходов, в том числе РСО. Широкое распространение за рубежом получили методы экономического стимулирования сбора и переработки отходов с помощью целевого субсидирования, льготного кредитования и налогообложения, предоставления льгот по транспортным тарифам, ускоренного списания амортизационных отчислений, использования залогово-возвратных и других механизмов. Аналогичные механизмы регулирования обращения с отходами в России практически отсутствуют. Для России назрела необходимость широкого практического внедрения наиболее эффективных, экологически безопасных и экономически оправданных технологий утилизации и обезвреживания ртутисодержащих отходов.

Литература

1. *Амору Дж., Морван Д., Кавадис С. И. др.* Контроль загрязнения окружающей среды и процессы очистки плазменными методами // Журнал технической физики, 2005, 75, вып. 5, с. 73–82.
- 2.
3. *Бессонов В.В., Янин Е.П.* Ртутьсодержащие приборы и устройства: экологические аспекты производства и использования. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 52 с.
4. *Бессонов В.В., Янин Е.П.* Экологические аспекты производства и использования ртутисодержащих химических источников тока // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2006. № 1, с. 24–44.
5. *Девяткин В.*
6. *Доусон Г., Мерсер Б.*
7. Европейская
- 8.
9. Инструкция.
10. Парламентские
11. Руководящие
- 12.
- 13.
14. *Хохлявин С.А., Епифанова И.П.*
15. *Янин Е.П.* Осадки сточных вод городов России как источник эмиссии ртути в окружающую среду // Экологические системы и приборы, 2004, № 7, с. 14–16.
16. *Янин Е.П.* Ртуть в России: производство и потребление. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 38 с.
17. *Янин Е.П.* Ртутные термометры: опасность для окружающей среды // Экология производства, 2009, № 10, с. 51–53.
18. *Янин Е.П.* Особенности обращения с ртутисодержащими отходами в США // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Мат-лы Междунар. симп. (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7–9 сентября 2010 г.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010, с. 461–465.
19. *Янин Е.П.* Технологии очистки ртутисодержащих почв и грунтов (зарубежный опыт) // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Мат-лы Междунар. симп. (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7–9 сентября 2010 г.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010, с. 466–471.
20. *Янин Е.П.* Ртутные лампы: опасность для окружающей среды // Экология производства, 2010, № 2, с. 53–55.

21. Янин Е.П. Состояние и проблемы утилизации ртутных ламп в России // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2010, № 2, с. 25–84.

22. Янин Е.П. О необходимости утилизации вышедших из строя ртутных термометров // Ресурсосберегающие технологии, 2010, № 2, с. 3–6.

23. Янин Е.П. Особенности обращения с ртутьсодержащими отходами в США // Ресурсосберегающие технологии, 2011, № 9, с. 11–17.

24. Янин Е.П. Технологии очистки ртутьсодержащих почв и грунтов (зарубежный опыт) // Ресурсосберегающие технологии, 2011, № 11, с. 30–36.

25. Янин Е.П. Основные мероприятия и программа по ртути ЮНЕП // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2011, № 5, с. 9–15.

26. Янин Е.П. Основные способы ремедиации загрязненных ртутью почв и грунтов (зарубежный опыт) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2011, № 5, с. 16–22

27. Янин Е.П., Бессонов В.В. Использование ртути в полупроводниковой промышленности и ее эмиссия в среду обитания // Ресурсосберегающие технологии, 2007, № 4, с. 17–27.

28.

29.

30.

31.

32.

33.

34.

35.

36. Global

37. Handbook.

38. Heavy Metals in Waste

39.

40.

41.

42.

43.

44.

45.

46.

47.

48.

49.

50. Solidification/Stabilization

51. Stabilization and

52. Stabilization of Mercury

53.

54.

55.

56.

57.

58.

59.

60..

61.

62.