

Тимошин И.В., Янин Е.П. О необходимости организации в жилом секторе селективного сбора использованных люминесцентных ламп // Экологическая экспертиза, 2016, № 5, с. 92–100.

Федеральный закон РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (№ 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года) определяет поэтапный отказ от использования в России ламп накаливания, что уже привело к широкому использованию в бытовом секторе ртутных, прежде всего, люминесцентных ламп и (после потери ими потребительских свойств) к увеличению количества их поступления в общий поток твердых коммунальных отходов. Это обуславливает необходимость повсеместного практического внедрения принципа раздельного сбора и последующего обезвреживания вышедших из строя люминесцентных ламп (как ртутьсодержащих отходов 1-го класса опасности) на специализированных предприятиях. В то же время, отсутствие во многих регионах и городах нашей страны раздельного сбора и последующего обезвреживания ртутьсодержащих отходов, образующихся в бытовом секторе, не только существенно затрудняет безопасную утилизацию основной массы твердых коммунальных отходов, но и имеет далеко идущие негативные санитарно-гигиенические, экологические и экономические последствия, а также противоречит существующему российскому законодательству и международным обязательствам Российской Федерации.

Люминесцентная лампа (ЛЛ) является разновидностью ртутных ламп и представляет собой газоразрядный источник света низкого давления, в котором ультрафиолетовое излучение электрического разряда в парах ртути превращается при помощи слоя люминофора, нанесенного на внутреннюю поверхность стеклянной колбы (трубки) лампы, в видимое оптическое излучение различной цветности [10, 18]. Массовое применение ртутных, особенно люминесцентных, ламп обусловлено их большой энергосберегаемостью, универсальностью, высокой световой отдачей, длительным сроком службы (по сравнению с обычными лампами накаливания) и возможностью получения разнообразных спектров излучения, широкого диапазона мощностей и яркости. Ртутные лампы обеспечивают в развитых странах от 50 до 80% (в России до 65–70%) световой энергии, генерируемой искусственными источниками света. Особую группу составляют ртутные лампы задней подсветки (*backlighting*), которые являются неотъемлемой частью мультимедиа-мониторов, мониторов с ЖК-дисплеем, телевизоров с ЖК-экраном, цифровых фоторамок, ноутбуков, факсов, сканеров, копиров и т. п., а также ртутьсодержащие неоновые трубки для световой рекламы [17].

В настоящее время мировой электроламповой промышленностью в наибольшем объеме выпускаются различные виды трубчатых линейных (ЛЛЛ) и компактных (КЛЛ) люминесцентных ламп. Именно эти лампы находят сейчас все большее применение в жилом секторе нашей страны. Типичные содержания ртути в различных лампах приведены в табл. 1.

Необходимо отметить, что словосочетание «энергосберегающая лампа», широко используемое сейчас, особенно в СМИ, – это маркетинговый (проще говоря, торговый) термин, под которым чаще всего подразумеваются так называемые компактные люминесцентные лампы (КЛЛ, или, в английском варианте, CFL, т. е. *Compact Fluorescent Lamps*), что с электротехнической, экономической и экологической точек зрения не совсем правильно. Дело в том, что энергосберегающие лампы – это, прежде всего, оптические источники света (электрические лампы), обладающие существенно большей светоотдачей (соотношением между световым потоком и потребляемой мощностью) в сравнении с наиболее распространёнными лампами накаливания (или, как их иногда называют, «вольфрамовыми лампами»). С этой точки зрения, к энергосберегающим лампам относятся практически все виды ртутных (газоразрядных) ламп (включая КЛЛ), галогенные, светодиодные и индукционные лампы, светоотдача которых существенно выше, нежели обычных ламп накаливания. В табл. 2 и 3 приве-

дены усредненные (по данным справочной литературы) характеристики различных источников света. Как видим, по удельной световой энергии, вырабатываемой за срок эксплуатации, первое место (по сравнению с обычными лампами накаливания) занимают натриевые лампы высокого давления, далее следуют люминесцентные лампы, металлогалогенные лампы, компактные люминесцентные лампы и дуговые ртутные лампы.

Таблица 1

Содержания ртути в ртутных лампах [23]

Лампы	Количество ртути в одной лампе, мг
люминесцентные (трубчатые)	< 10 – 50
люминесцентные компактные	< 3 – 5
высокого давления (типа ДРЛ)	15 – 350
высокого давления (типа ДРТ)	30 – 600
металлогалогенные	2,5 – 60
натриевые высокого давления	11 – 50
неоновые трубки для световой рекламы	от ≤ 10 до 500

Таблица 2

Основные характеристики различных источников света

Лампы	Средний срок службы, тыс. час.	Светоотдача, лм/Вт	Удельная световая энергия, вырабатываемая за срок службы, относительные единицы
накаливания	1	8–17	1
люминесцентные	10–20	48–104	88
компактные люминесцентные	5–15	65–87	60
дуговые ртутные	12–24	19–63	57
натриевые высокого давления	11–28	66–150	157
металлогалогенные	3,5–20	68–105	78

Таблица 3

Оценка эффективности различных источников света, %

Лампа	Потребление электроэнергии	Экономия электроэнергии
накаливания	100	–
типа ДРЛ	55	45
люминесцентная	46	54
металлогалогенная	35	65
натриевая высокого давления	29	71

Входящая в состав ЛЛ ртуть отличается широким спектром проявлений токсического действия на живые организмы и экосистемы в целом [6]. Наряду с общетоксическим действием (отравлениями) ртуть и ее соединения вызывают гонадотоксический (воздействие на половые железы), эмбриотоксический (воздействие на зародыши), тератогенный (пороки развития и уродства) и мутагенный (возникновение наследственных изменений) эффекты. Именно поэтому Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) определяет ртутьсодержащие отходы (PCO), к которым относятся и вышедшие из строя (использованные, перегоревшие) ртутные лампы, как чрезвычайно опасные отходы (отходы I-го класса опасности). PCO – как подчеркивается в нормативных документах – обладают очень высокой степенью воздействия на окружающую среду, в результате которого экосистемы необратимо

нарушаются, причем период их естественного восстановления отсутствует [19, 22]. Это, в сущности, и определяет необходимость селективного сбора использованных ртутных ламп и их последующего обезвреживания на специальных предприятиях.

Если в новых (неиспользованных) ЛЛ ртуть присутствует в основном в элементарной форме (в виде жидкого металла или амальгамы, что определяется технологией их производства) [10, 29], то в использованных («перегоревших») лампах она, выделяясь в ходе эксплуатации в виде паров в колбу лампы, преимущественно находится в адсорбированных на люминофоре различных формах (химических соединениях) и, в существенно меньшей степени, связывается со стеклом колбы и другими компонентами лампы [7, 26, 29]. Установлено, что не менее 94–97% ртути в ЛЛ, бывшей в эксплуатации, связано с люминофором и лишь 3–6% со стеклом и прочими деталями. Такое распределение ртути объясняется электрохимическими эффектами и наличием плазмы «ртуть/разряженный газ» в колбе работающей лампы; люминофор же является своеобразным барьером («депо») для ртути и постоянно фиксирует ее в разнообразных соединениях, существенная часть из которых в конечном счете достаточно прочно связывается его веществом и может эмитировать из него в окружающую среду лишь при высоких температурах. Это, между прочим, положено в основу современных технологий утилизации ЛЛ, которые базируются на «холодных и сухих» процессах дробления и сепарации изделий в системе с пониженным давлением, разделяющих лампы на три компонента: 1) цоколи, 2) стеклянная смесь (стеклобой), 3) ртутьсодержащий люминофор (с последующим его обезвреживанием). Сейчас такие способы получают все большее развитие во многих странах мира, включая Россию [13, 15, 23, 25].

Важно отметить, что определенное (обычно незначительное) количество ртути в использованных лампах связывается люминофором в относительно подвижных соединениях, способных (при нарушении целостности стеклянной колбы лампы) даже при комнатной температуре выделять в окружающий воздух пары металла [7, 29]. В последние годы были проведены экспериментальные исследования, в которых оценивалась интенсивность эмиссии (выделения) в среду обитания ртути из разбитых ЛЛ [27–29]. Обобщение результатов этих исследований свидетельствует о том, что определенное количество (до 10% от общего содержания ртути в лампе) способно выделяться из разбитой лампы в виде парогазовой фракции в окружающий воздух даже при комнатной температуре в течение первых суток, создания в экспериментальном помещении «ртутную» атмосферу с концентрациями ртути в воздухе, превышающими существующие ее гигиенические нормативы [24]. Как известно, что ингаляция (вдыхание) паров ртути – важнейший путь ее поступления в живой организм, причем 80–97% поступившей таким образом ртути абсорбируется [6]. Результаты этих исследований, в сущности, однозначно указывают на необходимость отдельного сбора и последующего обезвреживания всех видов ЛЛ (независимо от содержания в них ртути) на специализированных предприятиях. В противном случае использованные ЛЛ, поступаая в мусоропроводы, мусорные баки и т. п., будут являться существенными источниками загрязнения жилой, производственной и окружающей среды ртутью, осложняя при этом, процесс дальнейшей переработки основной массы твердых коммунальных отходов.

Именно на принципе отдельного сбора и последующего обезвреживания РСО потребления создаются соответствующие системы обращения с отходами во многих странах мира. В частности, Директива ЕС (Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment) обязывает производителей, продавцов и импортеров электротехнического и электронного оборудования, в том числе ртутных ламп, отдельно собирать, повторно использовать, перерабатывать или утилизировать соответствующие отходы. Принцип отдельного сбора и последующего обезвреживания РСО потребления устанавливается Базельской конвенцией и принятыми ей в 2011 г. «Техническими руководящими принципами экологически обоснованного регулирования отходов, состоящих из элементарной ртути, и отходов, содержащих ртуть или загрязненных ею» [11]. Именно такой принцип закрепляется Минаматской конвенцией о ртути (имеющим обяза-

тельную юридическую силу глобальным документом по ртути) [9], которую к январю 2016 г. подписали 128 стран (включая Россию) и 21 страна ее ратифицировала.

В настоящее время во многих регионах нашей страны разрабатываются стратегии, программы и проекты, направленные на сокращение объемов направляемых на захоронение твердых коммунальных отходов, прежде всего, за счет их утилизации, включая рециклинг, регенерацию и рекуперацию. Это, в свою очередь, также определяет необходимость отдельного сбора вышедших из строя люминесцентных ламп (как и других РСО потребления), их изъятия из общего потока бытовых отходов и последующего селективного обезвреживания на специальных предприятиях, что позволит исключить попадание токсичной ртути в производимые из отходов товары и материалы, резко снизит вероятность ее повторного рассеивания в окружающей среде и включения в биогеохимические циклы и пищевые цепи.

Анализ существующей ситуации свидетельствует о том, что в России имеются соответствующие нормативно-правовые и нормативно-технические документы, а также организационные предпосылки, вполне достаточные для осуществления работ по селективному изъятию люминесцентных и других видов ртутных ламп, потерявших свои потребительские свойства, из общего потока ТКО, образующихся в многоквартирных домах и частном секторе, и их последующему обезвреживанию на специализированных предприятиях [14]. Так, для организации и проведения работ по сбору, вывозу и обезвреживанию отработанных люминесцентных ламп Постановлением Правительства РФ № 860 от 01.10.2013 г. внесены изменения в «Правила обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащий сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде», определяющие требования, порядок сбора, накопления и транспортирования отработанных ртутных ламп. Согласно указанному Постановлению, обязанность по реализации соответствующих требований и оказанию услуг по сбору и утилизации ртутьсодержащих отходов потребления возложена на: 1) органы местного самоуправления в части сбора и утилизации ртутьсодержащих отходов потребления, образующихся в частном жилом секторе; 2) лиц, осуществляющих управление многоквартирными домами, в части сбора и утилизации ртутьсодержащих отходов потребления, образующихся в многоквартирных домах. Действующими российскими (федеральными и региональными) законодательными и нормативными документами установлены требования к организации отдельного сбора, накопления, транспортирования, обезвреживания и размещения РСО независимо от их происхождения. В частности, при обращении с РСО необходимо и обязательно:

- 1) использование специальной тары для сбора и транспортировки РСО;
- 2) применение транспортных средств, обеспечивающих безопасную доставку РСО к местам их переработки и обезвреживания;
- 3) использование специального технологического оборудования для переработки и обезвреживания РСО;
- 4) проведение мониторинга окружающей среды с использованием ртутных анализаторов и специальных методик при выполнении работ, связанных со сбором, накоплением, обезвреживанием и размещением РСО;
- 5) привлечение к работам лиц, которые имеют соответствующие сертификаты, дающие право на работу с РСО.

Важно отметить, что наряду с нормативно-правовой базой в нашей стране существуют организационные и технические условия и необходимая инфраструктура для создания эффективных селективных систем сбора и обезвреживания РСО потребления. В ряде регионов страны уже созданы и функционируют региональные системы сбора и обезвреживания вышедших из строя ртутных, причем не только ориентированных на промышленные организации и предприятия, но и на бытовой сектор [3, 12, 20, 21]. Более того, сейчас в России функционирует достаточное количество (формально – около 100) предприятий по отдельному сбору РСО потребления (прежде всего, ртутных ламп). Более 40 таких предприятий, распо-

ложенные во всех федеральных округах Российской Федерации, создали собственное профессиональное объединение: Некоммерческое партнерство «Ассоциация предприятий по обращению с ртутьсодержащими и другими опасными отходами» (НП «АРСО») [16]. Эти предприятия имеют многолетний опыт работы в сфере обращения со всеми видами РСО, в разработке и изготовлении демеркуризационных установок, контейнеров для отходов, демеркуризационных препаратов (в том числе, для использования в бытовых условиях), в выполнении демеркуризационных мероприятий, в экологической оценке загрязнения окружающей среды ртутью, разработке методических документов по ртутной безопасности. Показательно, что практически все российские демеркуризационные предприятия оснащены отечественным оборудованием (установками по переработке ртутных ламп и других РСО), которое по своим техническим, технологическим и экологическим характеристикам не уступает лучшим зарубежным образцам и даже поставляется за рубеж. Это, прежде всего, эффективная, энергоэкономичная и экологически безопасная технология вибропневматической переработки ЛЛ, реализованная в установке «Экотром-2» и ее различных модификациях [2, 8, 13, 15, 23]. Хорошо известна также малогабаритная вакуумная термодемеркуризационная установка «УРЛ-2м» для переработки широкого спектра РСО, принцип действия которой основан на вакуумной дистилляции ртути с вымораживанием (конденсацией) ее паров на поверхности криогенной ловушки [1]. Практический интерес представляет совместное использование установок «УРЛ-2м» и «Экотром-2». Для сбора, временного хранения и транспортирования различных видов РСО, включая отработанные ртутные лампы, отечественными предприятиями производится и широко используется на практике специальная тара (контейнеры, боксы). Для населения разработаны демеркуризационные комплекты, предназначенные для устранения ртутного загрязнения в виде капельной ртути, возникающего при разрушении термометра, и/или для устранения ртутного загрязнения в виде люминофора с атомарной ртутью, образующегося при разрушении люминесцентной лампы в офисных, учебных, медицинских и жилых помещениях [4, 5].

По оценкам НП «АРСО», из всего количества ежегодно выводимых в России из строя ртутных ламп (на производстве и в быту) обезвреживается порядка 50% (табл. 4). Исключения составляют такие субъекты Российской Федерации, как г. Москва и Московская область, г. Санкт-Петербург и Ленинградская область, Краснодарский край, Республика Чувашия и некоторые другие, где достаточно успешно функционируют региональные системы сбора и утилизации отработанных ртутных ламп, а уровень сбора и переработки последних достигает 65–85%. Например, в г. Москве ежегодно собирается и обезвреживается более 90% вышедших из строя ртутных ламп разного типа (более 9 млн. шт., в том числе более 2 млн. шт. из бытового сектора).

Таблица 4

**Ориентировочная оценка ежегодного использования ртутных ламп
в современной России, млн. шт.**

Лампы	Присутствие на рынке	Вышли из строя	Собраны и обезврежены	Доля обезвреженных, %
люминесцентные	114	90	50	55
люминесцентные компактные	100	30	6	20
люминесцентные прочие	8	5	1	20
газоразрядные ртутные	9	7	4	57
натриевые *	2	1,5	0,5 ?	33?
металлогалогенные *	1,2	1	0,2 ?	20?

* Включая «безртутные» разновидности.

Отметим, что вопреки существующему мнению о невероятно высокой степени сбора и переработки вышедших из строя ртутных ламп в зарубежных странах, в реальности доля

сбора и переработки их там не так уж велика и в среднем не отличается от российских показателей, а во многих странах – даже существенно ниже. К тому же надо понимать, что организовать систему сбора отработанных ламп в небольшой (по площади) европейской стране (например, в Дании или Люксембурге) намного проще, нежели в такой огромной стране, как наша Россия. Кстати, во многих странах разделения ламп по происхождению (от физических лиц или от юридических лиц) не производится, а существующие системы сбора ламп от физических лиц во многом основаны на добровольной сдаче перегоревших ламп в специальные места их приёма. Из доступных зарубежных источников информации можно узнать, что в таких странах, как, например, Франция, объём переработки ежегодно выходящих из строя ртутных ламп составляет примерно 36%, в Польше – 30%, в Венгрии и Чехии – 20%, в Бразилии, Южной Корее, Японии и Индонезии – 10%, в Канаде – 7%. По данным Ассоциации светотехников и переработчиков ртути (*Association of Lighting and Mercury Recyclers*), в США ежегодно выходят из строя 700 млн. ртутных ламп, из которых всего лишь 24% собираются и тем или иным способом перерабатываются, причём в жилом секторе этот показатель составляет всего лишь 2%. Остальные лампы в лучшем случае попадают на свалки или сжигаются в составе общих бытовых отходов. Даже в Германии, где существует лучшая, по крайней мере, в Европе система сбора отработанных ламп, собирается и перерабатывается не более 40% последних, причём промышленными предприятиями и госучреждениями сдаётся на утилизацию 90% ламп, а домохозяйствами – всего лишь порядка 10%.

Безусловно, отдельный сбор в жилом секторе отработанных люминесцентных ламп будет способствовать ещё большему развитию систем их обезвреживания и утилизации, направленных на обеспечение санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности нашей страны.

Литература

1. *Альперт В.А.* Двадцатилетний летний опыт производства и эксплуатации вакуумного термомеркуризационного оборудования УРЛ-2 // *Светотехника*, 2010, № 3, с. 40–42.
2. *Альперт В.А., Макаренко Г.В., Тимошин В.Н., Янин Е.П.* Обращение с отработанными ртутными лампами: ловушки для дилетантов // *Экология производства*, 2011, № 10, с. 48–53.
3. *Бессонов В.В.* Опыт работы малого предприятия в сфере утилизации люминесцентных ламп и других ртутьсодержащих отходов потребления // *Ресурсосберегающие технологии*, 2007, № 4, с. 3–17.
4. *Косорукова Н.В., Янин Е.П.* Проблемы и способы демеркуризации городских помещений // *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*, 2006, № 1, с. 2–23.
5. *Косорукова Н.В., Макаренко Г.В., Тимошин В.Н., Тиняков К.М., Янин Е.П.* Оценка эффективности практического применения различных демеркуризационных препаратов // *Экономика природопользования*. 2012, № 4, с. 44–51.
6. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Вып. 1. Ртуть. – Женева: ВОЗ, 1979. – 149 с.
7. *Макаренко Г.В., Косорукова Н.В., Волох А.А.* Демеркуризация объектов городской среды // *Эколого-геохимические проблемы ртути*. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 153–160.
8. *Макаренко Г.В., Тимошин В.Н., Тиняков К.М., Янин Е.П.* «Экотром-2У» – новый технологический мини-комплекс по обезвреживанию и утилизации люминесцентных ламп // *Экологические системы и приборы*, 2012, № 7, с. 8–12.
9. Минаматская конвенция. Текст и приложения. ЮНЕП. 2013. – 65 с. // www.mercuryconvention.org.
10. Справочная книга по светотехнике. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
11. Технические руководящие принципы экологически обоснованного регулирования отходов, состоящих из элементарной ртути, и отходов, содержащих ртуть или загрязненных ею. – 72 с. // www.basel.int.

12. Тимошин В.Н., Кочуров А.В. Утилизация энергосберегающих люминесцентных ртутьсодержащих ламп в Московском регионе // Информационный бюллетень «ЭНЕРГО-СОВЕТ». 2010. № 6. С. 41–43.
13. Тимошин В.Н., Кочуров А.В. Утилизация энергосберегающих ртутьсодержащих ламп // Экология производства, 2010, № 5, с. 49–51.
14. Тимошин В.Н., Латышенко А.В., Тимошин И.В., Янин Е.П. Методические рекомендации по организации сбора отработанных энергосберегающих люминесцентных ламп у населения. – М.: НП «АРСО», 2014. – 39 с.
15. Тимошин В.Н., Тиняков К.М., Макаренченко Г.В., Кочуров А.В., Янин Е.П. Пневмовибрационные способы утилизации энергосберегающих люминесцентных ламп // Экономика природопользования, 2011, № 6, с. 67–71.
16. Тимошин И.В., Янин Е.П. Ассоциация предприятий по обращению с ртутьсодержащими и другими опасными отходами и ее возможности в решении проблем ртутного загрязнения // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2015, с. 341–345.
17. Тимошин В.Н., Янин Е.П. Ртуть в отходах электронного оборудования // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2015с. 349–351.
18. Федоров В.В. Люминесцентные лампы. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 128 с.
19. Янин Е.П. Ртутные лампы как источник загрязнения окружающей среды. – М.: ИМ-ГРЭ, 2005. – 28 с.
20. Янин Е.П. Состояние и проблемы утилизации использованных ртутных ламп в Южном федеральном округе России // Ресурсосберегающие технологии, 2007, № 18, с. 9–14.
21. Янин Е.П. Система обращения с отработанными ртутными лампами в городе Москве // Ресурсосберегающие технологии, 2009, № 5, с. 3–7.
22. Янин Е.П. Ртутные лампы: опасность для окружающей среды // Экология производства, 2010, № 2, с. 53–55.
23. Янин Е.П. Состояние и проблемы утилизации ртутных ламп в России // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2010, № 2, с. 25–84.
24. Янин Е.П. К оценке локальной эмиссии ртути из отработанных люминесцентных ламп // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2013, № 6, с. 17–24.
25. Янин Е.П. Особенности обращения с ртутьсодержащими отходами в зарубежных странах // Экологическая экспертиза, 2014, № 1, с. 16–77.
26. Doughty D.A., Wilson R.H., Thaler E.G. Mercury-glass interaction in fluorescent lamps // J. Electrochem. Soc., 1995, v. 142, № 1, p. 3542–3551.
27. Hall F.D., Kominsky J.R. Model to Predict Airborne Concentrations of Mercury from Broken Compact Fluorescent Lights // http://www.eqm.com/eq/publications/FHall_CFL_Hg_Extended_Abstract_AWMA_2010.pdf.
28. Johnson N.C., Manchester S., Sarin L., Gao Y., Kulaots I., Hurt R.H. Mercury vapor release from broken compact fluorescent lamps and in situ capture by new nanomaterial sorbents // Environ. Sci. Technology, 2008, v. 42, p. 5772–5778.
29. Raposo C., Windmöller C.C., Durão Junior W.A. Mercury speciation in fluorescent lamps by thermal release analysis // Waste Manag., 2003, v. 23, p. 879–886.