

**ООО «ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«МЕРКУРИЙ»**

В.В. БЕССОНОВ

Е.П. ЯНИН

**ЭМИССИЯ РТУТИ
В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП
В РОССИИ**

МОСКВА - 2004

УДК 550.4:621.327

Бессонов В.В., Янин Е.П. Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве газоразрядных ламп в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 59 с.

В работе рассматривается использование ртути при производстве газоразрядных (ртутных) ламп в России. Анализируется поведение ртути в технологических процессах и дается оценка ее эмиссии в окружающую среду. Обсуждаются особенности загрязнения окружающей среды в окрестностях электроламповых заводов. Описываются гигиенические последствия воздействия данного типа производства на профессиональных рабочих и городских жителей.

Табл. 32; рис. 11; список лит. – 50 назв.

Рецензенты:

канд. геол.-мин. наук

А.А. Волох

(Институт физики атмосферы

им. А.М. Обухова РАН),

канд. техн. наук

Ю.Г. Таций

(Институт геохимии и аналитической химии

им. В.И. Вернадского РАН)

© Бессонов В.В., Янин Е.П., 2004

Введение

Ртуть является составной частью газоразрядных ламп, в которых свечение создается от электрического разряда в парах металла или в смеси газа и пара. По рабочему давлению в колбе газоразрядные (ртутные) лампы разделяются на три разновидности: а) лампы низкого давления (парциальное давление паров ртути при установившемся режиме не превышает 10^2 Па), б) лампы высокого давления (от 10^5 до 10^6 Па), в) лампы сверхвысокого давления (10^6 Па и более). Колбы ртутных ламп могут быть покрыты или непокрыты слоем люминофора.

Ртутные лампы широко используются для освещения улиц, жилых, общественных и промышленных помещений, местного освещения, в медицинских и оздоровительных целях, в прожекторных установках, светокопировальных аппаратах, на сельскохозяйственных объектах и т. д. Массовое применение ртутных ламп (особенно низкого давления) во многом обусловлено их высокой световой отдачей, большим сроком службы (по сравнению с обычными лампами накаливания) и возможностью получения разнообразных спектров излучения, широкого диапазона мощностей, яркости. В настоящее время люминесцентные лампы обеспечивают в развитых странах от 50 до 80% световой энергии, генерируемой искусственными источниками света.

В общем случае можно различать два основных типа ртутных ламп – лампы, в которые вводится металлическая (жидкая) ртуть, и амальгамные лампы, в которых жидкая ртуть заменяется амальгамой. Благодаря меньшему давлению паров ртути над амальгамой лампа становится более приемлемой в производстве и эксплуатации. В настоящее время на российских электроламповых заводах в процессе вакуумной обработки ламп в подавляющее их количество вводят именно жидкую (металлическую) ртуть. Это неизбежно сопровождается ее технологическими потерями и загрязнением производственной среды, что обуславливает негативное воздействие на рабочих, эмиссию металла в среду обитания и формирование зон ртутного загрязнения в окрестностях предприятий.

В предлагаемой работе рассматривается использование ртути электроламповой промышленностью России, анализируются особенности распределения и поведения этого металла в технологических процессах, дается оценка его эмиссии в окружающую среду при производстве ртутных ламп. Особое внимание уделяется характеристике ртутного загрязнения производственных помещений и окружающей среды в окрестностях электроламповых заводов, а также гигиеническим последствиям воздействия данного типа производства на профессиональных рабочих и городских жителей.

Авторы признательны В.Е. Крутилину и Р.В. Болохонцевой (Центр Госсанэпиднадзора по Смоленской области), Т.И. Федоровой (Смоленский городской центр Госсанэпиднадзора), А.Ю. Ермишеву (ФГУ «Мордовский территориальный фонд геологической информации»), Р.М. Величко, С.А. Кижапкину и Н.А. Степанову (Саранский городской центр Госсанэпиднадзора), Л.М. Агеносову (Саранский дом науки и техники) за консультации и помощь в сборе первичной статистической информации об использовании ртути и особенностях производства ртутных ламп на российских электроламповых заводах, К. Лассену (*COWI A/S*) за предоставленную возможность ознакомиться с материалами инвентаризаций промышленных выбросов ртути, выполненных в свое время в США и ряде европейских стран, а также А.А. Волоху и Ю.Г. Тацию за ценные советы и конструктивные замечания.

Производство ртутных ламп и потребление ртути электроламповой промышленностью

Российскими электроламповыми заводами производятся главным образом следующие группы ртутных ламп (табл. 1). В наибольшем объеме выпускаются люминесцентные лампы, т. е. разрядные лампы низкого давления, в которых ультрафиолетовое излучение электрического разряда в парах ртути превращается при помощи слоя люминофора, нанесенного на внутреннюю поверхность колбы, в видимое оптическое излучение различной цветности. Важной составной частью люминесцентных ламп является стеклянная колба (чаще всего прямой трубчатой формы), по обоим концам которой впаяны ножки с катодами. Катод обычно представляет собой биспираль из вольфрамовой проволоки, покрытую тонким слоем оксидов щелочноземельных металлов. Цоколь ламп изготавливается, как правило, из алюминия; в лампах присутствуют также медь (выводы, латунные штырьки), никель (выводы), цинк (латунные штырьки), олово (припой), свинец (припой и ножка). В колбу лампы вводится инертный газ, который облегчает зажигание лампы и уменьшает распыление катодов в процессе работы. Отечественной электроламповой промышленностью наряду с трубчатыми (прямыми) люминесцентными лампами выпускаются фигурные лампы (с U-образной и кольцевой формой трубчатой колбы).

В группе ламп высокого и сверхвысокого давления в наиболее массовом порядке производятся лампы типа ДРЛ, ДНаТ, ДНаЗ. Обычно они обладают стеклянной колбой примерно эллиптической формы, внутри которой находится трубчатая кварцевая горелка (так называемая ртутная горелка). На внутреннюю поверхность колбы нанесен тонкий слой люминофора, который поглощает ультрафиолетовое излучение ртутной горелки и преобразует его в видимое излучение исправленной цветности. Колбы ламп могут иметь зеркальное или матовое покрытие.

В 2000-2002 гг. объемы производства люминесцентных ламп низкого давления составляли в России порядка 69-71 млн. шт./год, ламп высокого и сверхвысокого давления – до 6,5-7 млн. шт./год. Основными производителями ртутных ламп и соответственно главными потребителями ртути являлись ОАО «Лисма» (г. Саранск, Республика Мордовия) и ОАО «Свет» (г. Смоленск). Компактные люминесцентные лампы в небольшом количестве (до 500-600 тыс. шт./год) изготавливались на ОАО «Лисма-ВНИИИС» (150 тыс. шт./год) и Московском электроламповом заводе (ОАО «МЭЛЗ») [12].

Таблица 1. Основные группы отечественных ртутных ламп [1, 8, 21]

Группа ламп	Типы ламп, мощность, (маркировка)	Количество типов ламп	Средняя продолжительность горения, часы ¹
Разрядные лампы низкого давления			
Люминесцентные	Трубчатые, 4-80 Вт (ЛБ, ЛБЕ, ЛД, ЛДЦ, ЛЕЦ и др.)	45	6000-12000
	Фигурные, 22-60 Вт (ЛБК, ЛДК, ЛЕЦК и др.)	13	2000-15000
	Цветные, 15-40 Вт (ЛГ, ЛК, ЛЗ, ЛЖ, ЛР, ЛС)	15	7500-15000
Люминесцентные компактные	7-36Вт (КЛ)	12	8000-10000
	Универсальные, 7-11 Вт (КЛУ)	12	8000-10000
	Цветные, 5-11 Вт (КЛ, КЛУ)	30	5000
	С электронным ПРА и цоколем E27, 11-20 Вт (КЛЭ)	19	8000
Люминесцентные ультрафиолетового излучения	4-80 Вт (ЛУФ, ЛУФТ, ЛУФК, КЛ)	10	300-5000
Эритемные	15-40 Вт (ЛЭ, ЛЭР)	5	3000-5000
Бактерицидные	4-60 Вт (ДБ, ДРБ, ДБК)	7	3000-8000
Неоновые трубки	Для световой рекламы	-	6000-8000
Разрядные лампы высокого и сверхвысокого давления			
Ртутные высокого и сверхвысокого давления	50-Вт (ДРЛ, ДРТ, ДРТБ, ДРШ)	38	500-24000
Металлогалогенные	250-4000 Вт (ДРИ, ДРИЗ, ДРИФ, ДРИШ)	24	200-10000
Натриевые высокого давления	С прозрачной колбой, 50-1000 Вт (ДНАТ)	9	10000-15000
	Со светорассеивающей колбой, 50-1000 Вт (ДНАМг)	9	10000-15000
	Зеркальные «Рефлакс», 50-600 Вт (ДНАЗ)	9	10000-15000
Ртутно-ксеноновые	500-1500 Вт (ДРКс)	3	1200
Спектральные	50-600 Вт (дугового разряда, ДРС), 12 (ртутно-гелиевая, ДРТ)	4	50-500

¹ В режиме частых включений срок службы лампы заметно сокращается.

Смоленский электроламповый завод (ОАО «Свет») специализируется на изготовлении люминесцентных ламп низкого давления, еже-

годно выпуская до 50% отечественных ламп подобного типа (в 2001 г. – более 35,6 млн. шт.).

ОАО «Лисма» (г. Саранск) отличается разнообразной номенклатурой выпускаемой продукции (более 700 наименований источников света различного назначения, световые приборы, светильники и др.). Массовое производство люминесцентных ламп низкого давления сосредоточено на Саранском электроламповом заводе – «Лисма-СЭЛЗ» (более 35 млн. шт. в 2001 г.). Выпуск ртутных ламп высокого и сверхвысокого давления (около 5,8 млн. шт. в 2001 г.) осуществлялся на «Лисма-СЭЛЗ», на Саранском заводе специальных источников света и электровакуумного стекла («Лисма-СИС-ЭВС») и в ОАО «Лисма-ВНИИИС».

Указанные в Базе данных «Участники светотехнического рынка», подготовленной московским Домом Света [1], другие отечественные производители (5-6 предприятий) ртутных ламп (в основном высокого давления и специального назначения) в 2000-2002 гг. обладали незначительными производственными мощностями (до 100-150 тыс. ламп в год). По имеющимся сведениям, на некоторых из них производство ртутных ламп высокого давления осуществлялось с использованием готовых разрядных трубок (ртутных горелок), поставляемых из-за рубежа. В целом деятельность этих предприятий оказывала незначительное влияние на российский рынок ртутных ламп и соответственно на потребление металлической ртути отечественной электроламповой промышленностью (табл. 2).

Таблица 2. Потребление ртути российской электроламповой промышленностью в 2001 г. ¹

Потребители ртути	Масса ртути, кг	Доля, %
ОАО «Лисма», г. Саранск	4400 ²	58,7
ОАО «Свет», г. Смоленск	2600	34,7
Прочие производители	350	4,6
Производство неоновых трубок	150	2
Итого	7500 ³	100

¹ Здесь и далее в качестве базового года оценки выбран 2001 г. (есть все основания считать, что приводимые фактические данные и расчетные оценки достаточно адекватно отражают ситуацию, характерную для 2000-2002 гг.).

² До 90% ртути потреблялось Саранским электроламповым заводом («Лисма-СЭЛЗ»).

³ До 87% ртути использовалось в производстве люминесцентных ламп низкого давления.

В последние годы в России получило развитие производство неоновых трубок для световой рекламы (в англоязычных странах оно

именуется «*bending*», по названию основной операции – сгибанию стеклянных трубок). Например, только в г. Москве в 2001 г. существовало более 20 производителей неоновых ламп. Как правило, это небольшие предприятия-мастерские, весь комплект оборудования которых размещается на площади в 20 м², численность работников – 4-6 человек; потребление металлической ртути одним таким предприятием, судя по всему, не превышает 8-10 кг/год.

В отечественных учебниках и справочниках по светотехнике, а также в каталогах светотехнических изделий обычно приводятся сведения, что количество ртути в каждой люминесцентной лампе низкого давления (наиболее массовой продукции данного типа), изготовленной на российских заводах, составляет от 20 до 50 мг (см., например, [8, 11, 16]). Однако известно, что используемая на российских электроламповых предприятиях технология изготовления люминесцентных (трубчатых) ламп изначально базировалась на введении в каждое изделие от 80 до 120 мг металлической ртути. Именно такое количество металла помещалось в ампульную часть дозирочной головки автомата-дозатора, причем в каждое изделие (лампу) в конечном счете попадало порядка 50-80 мг ртути (остальное количество металла терялось в ходе технологических процессов).

В последние годы на ОАО «Свет» (г. Смоленск) были проведены технические мероприятия по усовершенствованию дозирочных головок автоматов-дозаторов, позволившие уменьшить среднюю дозу вводимой в каждую лампу металлической ртути (без учета ее технологических потерь) в 1998-2000 гг. до 72,8-74,3 мг, в 2001 г. – до 67,7 мг, в 2002 г. – до 63,4 мг, в 2003 г. – до 52,6 мг. Из десяти эксплуатируемых в настоящее время на Смоленском заводе линий сборки люминесцентных ламп только две (венгерского производства) отличаются меньшим удельным количеством ртути, вводимой в лампу (не более 50 мг); две линии переведены на использование меркурида титана (геттеро-ртутных дозаторов), однако работают они неэффективно, с малой производительностью. На Саранском электроламповом заводе («Лисма-СЭЛЗ») в 2001 г. в ампульную часть автоматов-дозаторов помещалось не менее 100 мг жидкого металла, из которых 60-70% попадали в лампу (в среднем примерно 66 мг). Попытки внедрить в производство использование геттеро-ртутных дозаторов на двух линиях сборки не увенчались успехом.

В табл. 3 приведены сведения, характеризующие уровни содержания ртути в основных типах ламп, выпускаемых российскими предприятиями (уровень 2001 г.). Для сравнения табл. 4 содержит данные об изменении содержания ртути в лампах, выпускаемых на заводах крупнейших мировых светотехнических компаний – *Philips, Osram (Siemens)*

и *General Electric Lighting* (в общей сложности они производят свыше 65% всех выпускаемых в мире ламп. Как видим, удельное содержание ртути в наиболее массовых типах зарубежных ламп существенно ниже, нежели в аналогичных отечественных изделиях.

Таблица 3. Содержание ртути в основных типах отечественных ламп

Группа ламп	Количество ртути, содержащееся в одной лампе, мг
Люминесцентные (трубчатые)	40 - 65 (среднее 52)
Люминесцентные компактные	5
Ртутные лампы высокого давления (типа ДРЛ)	75 - 350
Ртутные лампы высокого давления (типа ДРТ)	50 - 600
Ртутные лампы сверхвысокого давления (типа ДРШ)	от 5 до 50% (по массе)
Металлогалогенные	40-60
Натриевые лампы высокого давления	30-50
Неоновые трубки	нет данных ¹

¹ Согласно [44], одна неоновая трубка содержит 10 мг ртути; есть сведения, что на российских предприятиях ртуть вводится в трубки вручную, что априори предполагает ее существенно больший расход.

Таблица 4. Содержание ртути в основных типах ламп зарубежного производства [44]

Тип лампы	мг Hg в лампе		
	1993 г.	1997 г.	2001-2002 гг.
Люминесцентные (трубчатые)	30-40	15	10
Компактные люминесцентные	5	5	5
Высокого давления	75	39	30
Металлогалогенные	60	30	25
Натриевые высокого давления	20	25	30
Неоновые трубки ²	10	10	10

¹ В 1996 г. в США было изготовлено 550 млн. ртутных ламп, из которых 528 млн. шт. – люминесцентные лампы низкого давления со средним содержанием ртути в одной лампе в 19 мг, 22 млн. шт. – ртутные лампы высокого давления со средним содержанием ртути в одной лампе в 62 мг [46]. В начале 1980-х гг. среднее содержание ртути в люминесцентной лампе, изготовленной в США, составляло 48,2 мг, в 1999 г. – 11,6 мг, в 2000 г. – 10 мг, в 2001 г. – 8,3 мг, в 2000 г. в натриевой лампе высокого давления мощностью 50 Вт – 8,3 мг, мощностью 1000 Вт – 25 мг, среднее содержание ртути в ртутной лампе высокого давления в 1991 г. – 25 мг [40, 45].

² Оценка.

В табл. 5 приводятся данные Европейской федерации светотехнических компаний о производстве ртутных ламп в Европе в разные

годы. В указанной таблице отсутствуют сведения об использовании ртути при производстве неоновых трубок, но считается, что на их изготовление расходуется незначительное ее количество.

Таблица 5. Использование ртути при производстве ртутных ламп в Европе [44]¹

Тип ртутных ламп	1997 год			Текущее производство (уровень 2001 г.) ²		
	мг Hg/лампа	Лампы, млн. шт.	Масса ртути, кг/год	мг Hg/лампа	Лампы, млн. шт.	Масса ртути, кг/год
Люминесцентные	15	300	4500	10	500	4000
Компактные люминесцентные	5	40	200	5	140	600
Высокого давления	30	10	300	30	45	1300
Натриевые высокого давления	25	6,4	160	30		
Металлогалогенные	60	2,7	80	25		
Общее			5240			5900

¹ Заводы по производству ртутных ламп расположены в Бельгии, Великобритании, Венгрии, Германии, Ирландии, Испании, Италии, Нидерландах, Польше, Словакии, Франции.

² Оценка.

Технологические процессы и основные источники эмиссии ртути

Отечественные электроламповые заводы в основном оснащены устаревшими полуавтоматизированными линиями сборки люминесцентных ламп, изготовленными в свое время в Венгрии (фирма *Tungsramp*) и частично включающими отечественные машины (проектная мощность одной линии – 1200 ламп/час). Основу некоторых линий сборки составляют машины английской фирмы *Badalex*. В 2001 г. на Смоленском электроламповом заводе эксплуатировалось 10 линий; на Саранском электроламповом заводе – 12 линий сборки ламп.

Процесс сборки ламп начинается с мойки и сушки стеклянных трубок (колб ламп), нанесения и сушки люминофорного слоя (рис. 1). Стеклянные трубки, изготовленные в стекольном производстве, конвейером подаются в цех сборки ламп, где поступают на специальные машины, на которых установлены сопла для мойки и сушки трубок, а также бачки с люминофорной суспензией. В последние годы люминофорную суспензию готовят на водо-растворимом полимере (на основе ме-

тилметакрилата), обеспечивающего закрепление люминофорного слоя на стенках трубки в процессе его нанесения. В дальнейшем это связующее вещество (биндер) удаляется (выжигается).

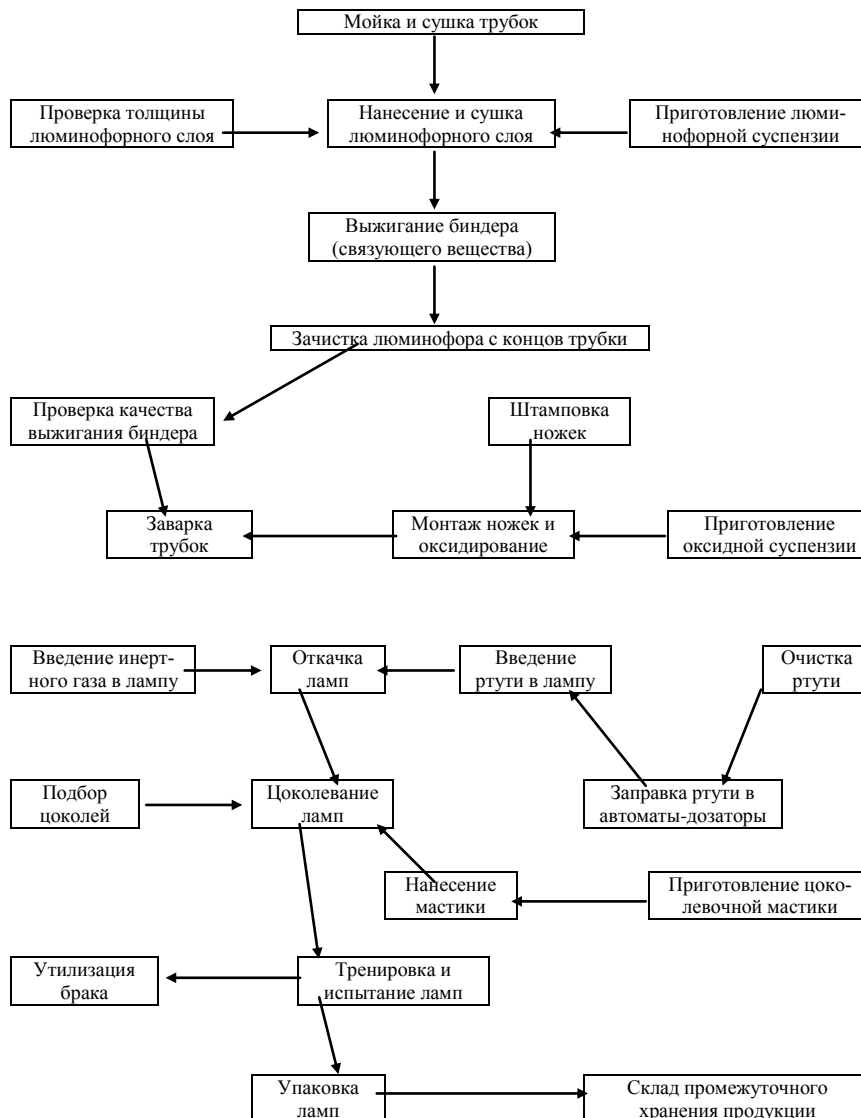


Рис. 1. Схема технологического процесса сборки люминесцентных ламп.

Стеклообразующие трубки, подходя к бачку, останавливаются над ним, после чего люминофорная суспензия с помощью создаваемого в трубках вакуума втягивается в них. Установленные у верхнего конца трубки фотоэлементы дают сигнал к выключению вакуума, когда суспензия поднимается до места их размещения. После этого остатки суспензии стекают обратно в бачок, а стеклянные трубки продвигаются на позиции сушки люминофорного слоя. Теплый воздух (до 50-60°C) для сушки вымытых трубок подается от печей выжигания биндера, для сушки люминофорного слоя – от калориферов. Затем трубки с нанесенным и высушенным люминофором поступают на машины выжигания биндера, которые состоят из 4-х частей: конвейера загрузки и маркировки трубок, печи выжигания, конвейера подачи трубок к машине заварки с матовым экраном в конце конвейера (где осуществляется проверка качества выжигания биндера), механизмов зачистки люминофорного слоя на концах трубок.

Следующей операцией является заварка стеклянных трубок, которая предваряется монтажом ножек и оксидированием. Для этого на особую машину подаются стеклянные тарелки, штенгели и металлические трехзвенные выводы. Выводы и штенгели заштамповываются в единое целое с тарелкой и образуют так называемую стеклянную ножку, которая перемещается в печь отжига, где постепенно остывает. Штенгель представляет собой стеклянный капилляр диаметром 5 мм, с помощью которого внутренний объем лампы соединяется с откачной системой; он также служит для введения в лампу ртути и инертного газа. Отверстие в штенгеле имеется лишь на ножке для одного конца лампы (ножка с продутым штенгелем); другая ножка его не имеет (ножка с непродутым штенгелем). На монтажно-оксидировочном автомате в крючки никелевых частей выводов зажимаются триспиральные катоды, наносится слой оксидной суспензии, который затем высушивается, а ножки автоматически подаются к машинам заварки трубок (на газовых горелках).

Важнейшей операцией процесса изготовления люминесцентных ламп является их откачка на откачных полуавтоматах, в ходе которой из лампы удаляется воздух, производится прогрев трубок для удаления из стекла и люминофорного слоя загрязнений, ведется тепловая обработка электродов при пропускании по ним тока (с откачкой продуктов разложения биндера и карбонатов оксидного покрытия), осуществляется введение в лампу ртути и инертного газа, активирование электродов, отпаивание ламп и установка их в конвейер, идущий к машине цоколевания. Откачка ламп осуществляется с помощью вакуумных насосов. Используемая в технологическом процессе металлическая ртуть подвергается очистке; затем осуществляется ее заправка в дозировочные головки

автоматов-дозаторов, с помощью которых производится подача металла в лампу (в виде капли ртути определенной массы).

Откачанные лампы по конвейеру идут к машине цоколевания. На конвейере происходит автоматическое обламывание непродутого штенгеля; работницы (цоколевщицы), находящиеся в середине конвейера, надевают (вручную) на лампы цоколи с намазанной на них мастикой. После термической обработки цоколевочная мастика прочно связывает цоколь со стеклянной трубкой. Затем лампы подаются конвейером на машины тренировки и испытания, после прохождения которых изделия, отвечающие техническим требованиям, упаковываются и поступают на склад промежуточного хранения, а попавшие в категорию забракованных – отправляются на утилизацию (на участок демеркуризации).

Цех сборки люминесцентных ламп оборудован общеобменной вентиляцией, рабочие места у откачных полуавтоматов – местной приточно-вытяжной вентиляцией. В цехе работает демеркуризационная бригада, осуществляющая периодическую обработку (обычно в течение смены дважды) оборудования и пола, сбор разбитых штенгелей, стеклянных трубок и ламп. На Смоленском электроламповом заводе для демеркуризации цеха используется 3%-ный раствор гипохлорита натрия, на Саранском – водный раствор перманганата калия, подкисленный соляной кислотой. После обработки демеркуризационный раствор смывается струей воды по направлению к желобам так называемой ртутной канализации, которая оборудована ловушками металлической ртути. Извлечение ртути из ловушек (для последующей утилизации) осуществляется с помощью форвакуумных насосов.

Технологический процесс производства люминесцентных ламп, используемый на российских заводах, включает большой удельный вес ручного труда, характеризуется значительными потерями металлической ртути, особенно на линиях сборки, и отличается наличием неблагоприятных производственных факторов (высокие концентрации паров ртути, других химических элементов и некоторых органических соединений в воздухе рабочей зоны, повышенная температура воздуха, повышенный шум, инфракрасное и электромагнитное излучение). Основу большинства линий сборки люминесцентных ламп составляет оборудование, характеризующееся практически 100%-ным сроком амортизации, что предопределяет очень высокий брак, прежде всего, из-за разбивания трубок и растрескивания стекла по шву заварки [2, 22]. В частности, если доля так называемого боя трубок ламп, предусмотренная проектом, не должна превышать 8%, то в реальности она достигает 20-25%. Достаточно велико также количество бракованных (не прошедших технический контроль) ламп (обычно не менее 7-9% от общего их производства).

Основные потери металлической ртути и интенсивная эмиссия ее паров в воздух рабочих помещений происходят у откачного полуавтомата, где металл вводится в лампу. Устройство, предназначенное для введения ртути в стеклянную трубку (дозировочная головка), обязано обеспечивать одновременно вакуумное уплотнение и правильную дозировку металла. В идеале капля ртути под своим весом должна поступать в лампу через капилляр штенгеля строго вертикально. На практике это происходит не во всех случаях, и капля ртути, ударяясь о стенки капилляра, частично остается в штенгеле, частично теряется. После отпайки раскаленный штенгель с остатками ртути поступает в демеркуризационный раствор, которым заливается пол в откачном зале. От момента отпайки и до поступления (штенгеля и ртути) в демеркуризационный раствор происходит интенсивное выделение паров металлической ртути в воздух рабочей зоны.

Пары ртути поступают в производственную среду также при откачке воздуха из лампы, особенно в тех случаях, когда лампа по тем или иным причинам направляется на повторные циклы откачки и введения ртути, при напайвании ламп, когда отключаются вакуумные насосы. На линиях сборки нередко происходит растрескивание и разбивание стеклянных трубок, что обуславливает потери ртути и выделение ее паров в воздух. Механические потери металла и эмиссия его паров в воздух происходят в ходе очистки ртути, при заправке автоматов-дозаторов и обслуживании дозировочных головок, при сборе отпаянных и разбитых штенгелей, разбившихся ламп, а также при обслуживании вакуумных насосов и утилизации бракованных ламп. Интенсивной дегазации ртути способствует повышенная температура воздуха в рабочих помещениях, достигающая на линиях сборки ламп 40°C и более (при нормативной в 18°C) [2]. Как правило, на российских электроламповых заводах количество металлической ртути, практически безвозвратно теряемой в ходе сборки ламп (особенно при откачке ламп), составляет от 30 до 40% от общей массы потребляемого предприятиями металла.

Воздух цеха сборки ламп отличается высокими концентрациями паров ртути. Например, из 856 замеров, выполненных в течение 2001 г. на линиях сборки ламп Смоленского завода, в 85% случаев фиксировались средние содержания паров ртути, превышающие максимально разовую предельно допустимую концентрацию (ПДК_{max}) в 8 раз (при вариациях от 4 до 15 ПДК_{max}) [2]. Наиболее высокие уровни паров ртути отмечались у откачных полуавтоматов. На последующих операциях (цоколевание, тренировка, испытание, упаковка ламп), где нет прямого контакта с металлической (открытой) ртутью, содержание ее паров в воздухе было меньше, но тем не менее находилось в пределах 2-5 ПДК_{max} (табл. 6, 7, рис. 2). Цех сборки ламп характеризуется наличием

вторичных источников поступления ртути в воздух (различные строительные конструкции, устройства и оборудование, депонирующие металлы), которые в условиях повышенных температур, свойственных данному производству, способны эмитировать пары ртути в окружающее пространство.

Таблица 6. Концентрация паров ртути в воздухе помещений ОАО. «Свет»¹

Технологическая операция, рабочее помещение	Ртуть, мкг/м ³	
	Средняя (максимальная), 2001 г.	Средняя (пределы), I кв. 2003 г.
Сборка люминесцентных ламп		
Мойка трубок, нанесение люминофора	2,8 (5)	2,1 (1,9-2,3)
Заварка трубок	3 (7)	2,3 (2,1-2,5)
Очистка ртути	16 (50)	23,5 (21-27)
Откачка ламп	66,3 (150)	79,8 (37-110)
Наладка откачного полуавтомата	54,6 (180)	79,4 (44-100)
Обслуживание вакуумных насосов	50 (98)	нет данных
Цоколевание ламп	43,9 (74)	58 (31-83)
Тренировка ламп	32 (54)	49,1 (19-76)
Испытание ламп	15 (30)	22 (8,7-32)
Отдел технического контроля	6 (16)	нет данных
Упаковка ламп	1,5 (2)	1,5
Вспомогательные подразделения		
Утилизация бракованных ламп	37 (57)	22,3 (12-27)
Компрессорная станция	4 (5)	0,72
Водородная станция	2,5 (5)	0,75
Кислородная станция	2,1 (4)	0,4
Бытовые помещения		
Прачечная (стирка спецодежды)	6 (8)	2
Столовая спецпитания	4,8 (9)	3,8 (2,8-5)
Заводская поликлиника	2,3 (4)	2,3 (1,3-3)
Нормативные и фоновые содержания паров металлической ртути в воздухе		
ПДК _{СС} (рабочая зона, среднесменная)	5	
ПДК _{МАХ} (рабочая зона, максимальная)	10	
ПДК _А (воздух населенных мест)	0,3	
Типичное фоновое содержание	0,010-0,015	

¹ Здесь и далее первичные фактические данные по Смоленскому заводу, послужившие основой для расчетов и оценок, предоставлены Центрами Госсанэпиднадзора в Смоленской области и г. Смоленске.

Таблица 7. Динамика изменения концентраций паров ртути в воздухе у откатного полуавтомата, Смоленский электроламповый завод¹

18 декабря 2001 г.		27 апреля 2002 г.		21 февраля 2003 г.	
Время суток	Ртуть, мкг/м ³	Время суток	Ртуть, мкг/м ³	Время суток	Ртуть, мкг/м ³
9 ²⁵ -9 ⁵⁰	95 ± 23	10 ⁰⁰ -10 ²⁵	100 ± 20	8 ⁴⁰ -9 ⁰⁵	58 ± 15
-	-	10 ³⁰ -10 ⁵⁵	117 ± 29	9 ¹⁰ -10 ³⁵	63 ± 16
-	-	11 ⁰⁰ -11 ²⁵	100 ± 26	9 ⁴⁰ -10 ⁰⁵	69 ± 17
-	-	11 ³⁰ -11 ⁵⁵	89 ± 22	10 ¹⁵ -10 ⁴⁰	70 ± 17
12 ³⁰ -12 ⁵⁵	54 ± 14	12 ⁰⁰ -12 ²⁵	70 ± 18	10 ⁴⁵ -11 ¹⁰	78 ± 18
-	-	12 ³⁰ -12 ⁵⁵	56 ± 14	11 ¹⁵ -11 ⁴⁰	71 ± 17
-	-	13 ⁰⁰ -13 ²⁵	270 ± 68	12 ⁰⁰ -12 ²⁵	70 ± 17
-	-	13 ³⁰ -13 ⁵⁵	75 ± 19	12 ³⁰ -12 ⁵⁵	60 ± 15
14 ⁰⁰ -14 ²⁵	110 ± 28	14 ⁰⁰ -14 ²⁵	84 ± 21	13 ⁰⁰ -13 ²⁵	100 ± 25
-	-	14 ³⁰ -15 ⁵⁵	329 ± 80	-	-
Средняя	86	Средняя	129	Средняя	71
Максимальная	110	Максимальная	329	Максимальная	100
Минимальная	54	Минимальная	70	Минимальная	58

¹ В зоне дыхания (на высоте 1-2 м от пола).

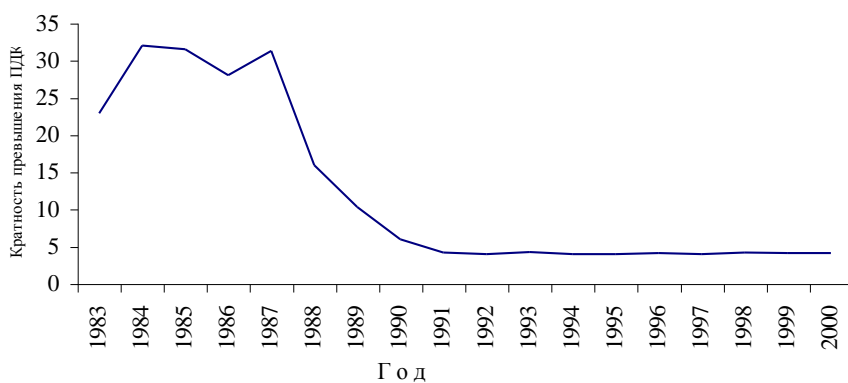


Рис. 2. Распределение среднегодовых концентраций паров ртути в воздухе откатного зала цеха сборки люминесцентных ламп Саранского электролампового завода. (В 1988-1989 гг. здесь были выполнены демеркуризационные мероприятия, ликвидированы многие вторичные источники ртути; регулярно стала осуществляться текущая демеркуризация помещений.) [22].

Потери ртути при производстве ламп

В табл. 8 приведены исходные данные, характеризующие производство люминесцентных ламп, использование ртути и образование отходов на ОАО «Свет» (г. Смоленск) в 1998-2002 гг. и за первый квартал 2003 г. Они послужили основой для расчета потерь ртути в ходе изготовления ламп на указанном электроламповом заводе (табл. 9).

Таблица 8. Производство люминесцентных ламп, использование ртути и образование отходов на Смоленском электроламповом заводе в 1998-2003 гг.

Год	Производство ламп, шт.		Общее потребление ртути, кг ¹	Общие потери ртути, кг	Уловленная ртуть, кг	
	всего	доля брака, %			фильтрами ²	УДЛ-750 ³
1998	25 583 100	7,2	1900,8	665,3	20,8	178,6
1999	29 373 300	7	2177,65	740,4	25	198,7
2000	35 743 500	7,1	2602,8	833	21,75	223,5
2001	38 333 500	7,1	2596,09	830,75	22	223,0
2002	38 114 100	7	2421,64	726,5	16,2	195,0
2003, I кв.	10 459 000	7	550	165	3,3	44,3

Продолжение табл. 8.

Год	Выбросы ртути в атмосферу, кг ⁴	Стеклобой ⁵		Сточные воды цеха сборки ламп	
		т	Ртуть, г/т	Общий объем, м ³	Ртуть, мкг/л ⁶
1998	62,4	45	1,4	110 145	1,2
1999	75	48	1,4	88 025	0,95
2000	87	75	1,4	118 902	0,77
2001	88	75	1,5	156 385	1
2002	92	79	2	166 648	1,8
2003, I кв.	22,5	25	1,6	43 269	-

¹ Цех по изготовлению люминесцентных ламп сдан в эксплуатацию в 1970 г.; в 1970-1975 гг. потребление ртути достигало 6 т/год.

² Фильтры общеобменной вентиляции цеха сборки ламп (активированный уголь, модифицированный йодистым калием; их эффективность сейчас составляет 20-25%).

³ Установка демеркуризации (утилизации) бракованных ламп, штенгелей, разбитых ламп и др. (продукт их переработки – ртутная ступпа с содержанием ртути до 60-75% в полиэтиленовых мешках вывозится на заводской полигон отходов, где размещается в так называемом бункере временного хранения).

⁴ После фильтров общеобменной вентиляции.

⁵ После демеркуризации на УДЛ-750 (стеклобой вывозится на свалку, где размещается в бункерах временного хранения).

⁶ Только растворенная в воде ртуть (мелкодисперсная металлическая ртуть, уходящая в канализацию, анализом не фиксируется); сточные воды сбрасываются в городскую канализацию и затем поступают на общегородские очистные сооружения.

Таблица 9. Баланс распределения ртути на Смоленском заводе (общее потребление ртути = 100%)

Год	Потери ртути		Количество кондиционных ламп, шт.	Среднее содержание ртути в одной лампе, мг	Ртуть, поступившая в конечную продукцию	
	Общие, кг	Доля от использованной, %			кг	% от использованной
1998	665,3	35	23 73 2000	52,06	1235,5	65
1999	740,4	34	27 324 000	52,60	1437,25	66
2000	833	32	33 188 000	53,33	1769,8	68
2001	830,75	32	35 626 000	49,55	1765,34	68
2002	726,5	30	35 455 000	47,81	1695,14	70
2003, I кв.	165	30	9 729 000	39,57	385	70

Продолжение табл. 9

Год	Ртуть в ртутной ступе		Ртуть, уловленная фильтрами цеха		Технологические потери ртути			
	кг	% от использованной	кг	% от использованной	Выбросы в атмосферу		Сточные воды ¹	
					кг	% от использованной	кг	% от использованной
1998	178,6	9,4	20,8	1,09	62,4	3,28	0,132	0,006
1999	198,7	9,12	25	1,15	75	3,44	0,084	0,004
2000	223,5	8,59	21,75	0,84	87	3,34	0,095	0,004
2001	223	8,59	22	0,85	88	3,39	0,156	0,006
2002	195	8,05	16,2	0,67	92	3,80	0,3	0,012
2003, I кв.	44,3	8,05	3,3	0,60	22,5	4,09	0,08	0,015

Окончание табл. 9

Год	Технологические потери ртути								
	Стеклобой		В канализацию ²		Прочие потери, кг ³	в том числе			
	кг	% от использованной	кг	% от использованной		Механические		Неучтенные	
					кг	% от использованной	кг	% от использованной	
1998	0,063	0,003	68,4	3,6	335,2	310,05	16,33	24,7	1,3
1999	0,067	0,003	78,4	3,6	363,15	334,85	15,38	28,3	1,3
2000	0,105	0,004	93,7	3,6	406,85	373,05	14,33	33,8	1,3
2001	0,113	0,004	93,5	3,6	403,98	370,28	14,26	33,7	1,3
2002	0,158	0,007	87,2	3,6	335,64	304,14	12,56	31,5	1,3
2003, I кв.	0,04	0,007	19,8	3,6	74,98	67,78	12,33	7,2	1,3

¹ Растворенные формы ртути.

² Мелкодисперсная металлическая ртуть, поступающая в канализацию (расчет сделан на основе данных [22]).

³ Подавляющую часть (до 95%, как свидетельствуют ниже приводимые данные по Саранскому электроламповому заводу) составляет металлическая ртуть, которая улавливается ловушками ртутной канализации (так называемые механические потери ртути).

Процесс изготовления люминесцентных ламп на Смоленском заводе отличается большими абсолютными и удельными потерями ртути, которые в рассматриваемый период в среднем составляли 30-35% от массы используемого в производстве металла, или 17-28 мг ртути на одну изготовленную (кондиционную) лампу. Большая часть потерь происходит на линиях сборки ламп и приходится на механически теряемую металлическую ртуть, затем аккумулирующуюся в ловушках так называемой ртутной канализации, откуда определенная часть ее извлекается форвакуумными насосами и отправляется на вторичную переработку, а также на ртуть, содержащуюся в ртутной ступпе (промпродукте, который получают при утилизации некондиционных – бракованных – ламп). Потери ртути со стеклобоем (после его демеркуризации) и сточными водами (преимущественно в виде растворенных форм металла) невелики. Следует отметить, что мелкодисперсная металлическая ртуть, уходящая по ртутной канализации (до 3,6% от массы используемого металла), заводской аналитической лабораторией в стоках не фиксируется. В то же время в сточных водах, отводимых в городскую канализацию, визуально наблюдаются капли металлической ртути, которая в конечном счете теряется безвозвратно. Не менее 3-4% от применяемого на предприятии количества ртути выбрасывается в атмосферу в основном в виде ее паров.

В 2001 г. на Смоленском заводе было использовано 2596,09 кг ртути, из которых 1765,34 кг поступили в кондиционные изделия, а 830,75 кг – составили технологические потери (68% и 32% от общего потребления соответственно). Так называемые «неучтенные потери» ртути (33,7 кг) в сущности должны быть распределены пропорционально среди других видов потерь металла. Однако с учетом данных, полученных для Саранского электролампового завода (см. ниже), распределение «неучтенных потерь» можно представить следующим образом: 1 кг ртути поступает в атмосферу в составе промышленной пыли, 3 кг металла остается в пыли, уловленной очистными установками, 13,2 кг – аккумулируется в ловушках ртутной канализации, 3,3 кг – в виде мелкодисперсной ртути уходит в канализацию, 0,006 кг сбрасывается со стоками (растворенные формы металла), а около 13,2 кг дегазируется в воздух помещений и (через дверные и оконные проемы) улетучивается в атмосферу, сорбируется строительными конструкциями, одеждой и обувью рабочих и т. д.

Расчетный общий баланс распределения потерь ртути на Смоленском электроламповом заводе в 2001 г. приведен в табл. 10. Как видим, большая часть потерь – это механические потери ртути, поступающей в ртутную канализацию; более 102 кг ртути (3,9% общего ее потребления) выбрасывается в атмосферу, почти 97 кг (3,7%) поступает в канализа-

цию, более 226 кг (8,7%) в составе твердых отходов (в основном в ртутной ступпе – 223 кг) вывозится на заводскую свалку отходов.

Таблица 10. Баланс потерь ртути на Смоленском электроламповом заводе в 2001 г.

Виды потерь ртути	Технологические потери ртути		Примечание	
	кг	Доля, %		
		от об-щих потерь	от использо-вания	
Твердые отходы, подлежащие переработке				
Некондиционная металлическая ртуть (механические потери)	383,48	46,16	14,77	По имеющимся сведениям, отправляется на переработку
Ртуть, содержащаяся в ртутной ступпе, – продукте демеркуризации брака и загрязненного стеклобоя	223	26,84	8,59	Ртутная ступпа в полиэтиленовых мешках вывозится на свалку в бункеры временного хранения
Фильтры воздухо-очистного оборудования цеха сборки люминесцентных ламп	22	2,65	0,85	Ртуть остается на фильтрах, которые не менялись в течение всего периода работы завода
Ртуть в пыли, уловленной очистными установками	3	0,36	0,12	Пыль вывозится на свалку (?)
Твердые отходы, направляемые на свалку				
Стеклобой	0,113	0,01	0,004	Вывозится на свалку
Безвозвратные потери ртути в канализацию				
Сточные воды (растворенная ртуть)	0,161	0,02	0,006	Сбрасываются в городскую канализацию
Мелкодисперсная металлическая ртуть	96,8	11,65	3,73	Поступает в канализацию, где частично аккумулируется, частично уходит в городскую канализацию
Безвозвратные потери ртути в атмосферу				
Организованный выброс паров ртути (через вентиляцию цеха сборки ламп)	88	10,6	3,38	Поступают во внешнюю среду (городскую атмосферу)
Неорганизованный выброс паров ртути в воздух	13,2	1,59	0,51	Поступают в атмосферу через дверные и оконные проемы, сорбируются конструкциями, одеждой и обувью рабочих и т. п.
Ртуть в промышленной пыли	1	0,12	0,04	Поступает в атмосферу
ИТОГО	830,75	100	32	

Таким образом, в окружающую среду в конечном счете поступает более 425 кг ртути, т. е. почти 16,4% от применяемой в технологическом процессе, причем более 199 кг ртути (около 7,7% общего потребления) теряется безвозвратно (распределяется в среде обитания). Определенные усилия по совершенствованию технологии, в первую очередь автоматов-дозаторов, в последние годы предпринимаемые на ОАО «Свет», способствует снижению удельных потерь ртути (табл. 11).

Таблица 11. Удельные потери ртути на Смоленском электроламповом заводе

Год	Эмиссия паров ртути в атмосферу (до очистки выбросов) ¹			Удельные потери ртути, мг/лампа		
	кг	доля от используемой ртути, %	на одну лампу, мг	общие	механические	в канализацию
1998	83,2	4,38	3,51	28,03	13,45	2,98
1999	100	4,59	3,66	27,10	12,65	2,97
2000	108,75	4,18	3,28	25,10	11,64	2,92
2001	110	4,24	3,09	23,32	10,76	2,72
2002	108,2	4,47	3,05	20,49	8,92	2,55
2003, I кв.	25,8	4,69	2,65	16,96	7,25	2,11

¹ Количество ртути, поступающее в атмосферу, определяется эффективностью очистки выбросов.

Саранский электроламповый завод («Лисма-СЭЛЗ»), в силу особенностей технологического процесса, отличается, нежели ОАО «Свет» (г. Смоленск), большим потреблением ртути, более высокими абсолютными и удельными ее потерями и, соответственно, более сложными санитарно-гигиеническими условиями. Корпус цеха по изготовлению люминесцентных ламп был построен в 1961 г. [5] *. В 2001 г. на Саранском заводе изготовлено 35 млн. кондиционных люминесцентных ламп, на производство которых использовано 3903 кг ртути. Плановые затраты ртути на изготовление одной лампы, согласно расчетам, основанным на нормативах предельно допустимых выбросов [13], составляют 101,14 мг, из которых 30-40% ртути (в среднем 35%) терялось (во многом, судя по всему, из-за несовершенства автоматов-дозаторов).

* В настоящее время решается вопрос о закрытии производства люминесцентных ламп на Саранском электроламповом заводе и демонтаже цеха их сборки с проведением демеркуризационных мероприятий. Предполагается, что новое производство ламп, во многом в соответствие с ранее разработанным проектом [14], будет размещено в северной промзоне г. Саранска и должно стать более безопасным (с эколого-гигиенической точки зрения).

Расчеты показали, что в одну люминесцентную лампу в среднем поступало 65,74 мг ртути, а потери металла при изготовлении ламп составили 1366 кг. Еще 236 кг металла присутствовало в 3590000 бракованных ламп, переработанных в 2001 г. на установке УДЛ-750 [4]. Таким образом, общие технологические потери ртути на Саранском электроламповом заводе в 2001 г. составили 1602 кг.

Как свидетельствуют данные по Смоленскому электроламповому заводу (см. выше), в ходе технологических процессов изготовления люминесцентных ламп около 4,5% от общего количества потребляемой ртути эмитируется в воздух. Для Саранского завода такая эмиссия составляет 176 кг металла. Из этого количества 22 кг ртути (в виде паров металла) непосредственно поступило в атмосферу города [17], а 154 кг, таким образом, было уловлено угольными адсорберами, которыми оборудована вентиляционная система цеха сборки ламп (в течение последних 10-15 лет адсорберы несколько раз модернизировались и даже заменялись; например, в 2001 г. был введен в строй новый адсорбер). Тем не менее, по данным ФГУ «Специализированная инспекция аналитического контроля по Приволжскому региону» [5], на Саранском электроламповом заводе постоянно фиксируется неэффективность работы некоторых фильтров очистных установок.

По данным [4], в 2001 г. на Саранском электроламповом заводе было собрано и отправлено на вторичную утилизацию 1000 кг отработанной ртути (можно предположить, что основном это ртуть, механически теряемая в ходе производства и затем извлекаемая из ловушек ртутной канализации). По [22], на Саранском электроламповом заводе из общей массы используемой в производстве ртути в среднем 3,6% ее количества уходит, минуя ртутные ловушки, в канализацию (главным образом в виде мелкодисперсной металлической ртути). Расчеты показали, что в 2001 г. такие потери ртути составили 141 кг.

Сточные воды цеха сборки люминесцентных ламп Саранского электролампового завода поступают на локальные заводские очистные сооружения и затем (по городской канализации) подаются на очистные сооружения г. Саранска, после чего сбрасываются в водоток (в р. Инсар). Ежегодно на локальных очистных сооружениях Саранского электролампового завода образуется около 300 т шлама, средняя концентрация ртути в котором достигает 300 мг/кг [30, 34], т. е. в шламе ежегодно аккумулируется до 90 кг ртути. В осадках сточных вод, образующихся (около 25 тыс. т сухого вещества в год) на общегородских очистных сооружениях, уровни ртути в среднем составляют 4 мг/кг (диапазон 3-5 мг/кг), т. е. в них ежегодно аккумулируется в среднем 100 (75-125) кг ртути, существенная часть которой, безусловно, поступает со сточными водами указанного электролампового завода [27, 32]. Порядка 15 кг

ртути ежегодно сбрасывается в составе сточных вод с общегородских очистных сооружений в р. Инсар.

Изложенные сведения позволяют следующим образом представить баланс распределения ртути в ходе технологических процессов изготовления ламп на Саранском электроламповом заводе (табл. 12).

Таблица 12. Баланс распределения ртути на Саранском электроламповом заводе в 2001 г. (общее использование ртути = 100%)¹

Общее потребление, кг	Общие потери,		Распределение ртути в ходе технологических процессов							
			Поступило в товарную продукцию		Выбросы в воздух					
	кг				%		В воздух рабочей зоны (до очистки)		в том числе	
			уловлено адсорберами ³						в атмосферу	
кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	
3903 ²	1602	41,05	2301	58,95	176	4,5	154	3,9	22	0,6

Окончание табл. 12

Распределение ртути в ходе технологического процесса							
Ушло в канализацию ⁴		Механические потери ⁵		Уловлено УДЛ-750 ⁶		Неучтенные потери	
кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
141	3,6	1000	25,6	236	6,1	49	1,3

¹ Такое распределение ртути, судя по всему, типично для деятельности завода в 1999-2002 гг.

² В 1980-х – начале 1990-х гг. общее потребление ртути на заводе достигало 5-5,5 т/год [3]. Есть сведения, что в эти годы на СЭЛЗ в ходе изготовления ртутных ламп ежегодно терялось около 800 кг ртути, из них 80 кг поступало в атмосферу, 180 кг – в канализацию [22, 42].

³ Очистное оборудование цеха сборки ламп (используются W-образные адсорберы, содержащие по 1 т активированного угля, периодически орошаемого соляной кислотой).

⁴ Преимущественно в виде мелкодисперсной металлической ртути, не улавливаемой ртутными ловушками.

⁵ Ртуть, аккумулирующаяся в ловушках ртутной канализации.

⁶ Ртутная ступпа.

Как уже отмечалось, с одной стороны, «неучтенные» потери ртути представляют собой закономерную балансовую неувязку подобных расчетов, которая, таким образом, может быть распределена пропорционально среди основных видов потерь металла. С другой стороны, в значительной мере неучтенные в данном случае потери ртути могут быть связаны с неорганизованными выбросами ее паров в атмосферу, с сорбцией их оборудованием и строительными конструкциями, одеждой и обувью рабочих, пылью, образующейся в ходе технологических процессов, а также со стеклобоем. В частности, Саранский электроламповый

вый завод выбрасывает в атмосферу примерно 68-70 т/год твердых веществ (промышленной пыли), еще около 240 т пыли улавливается очистным оборудованием (которая, судя по всему, затем вывозится на свалку) [30]. Среднее содержание ртути в промышленной пыли указанного завода составляет 12 мг/кг [33, 35, 36]. Расчеты показали, что неучтенные потери ртути распределяются следующим образом: с пылью в среду обитания поступило до 1 кг ртути в год, а около 3 кг металла концентрировалось в уловленной очистными установками пыли; 24 кг в виде мелкодисперсной ртути терялось в канализацию, 0,3 кг в форме растворенной ртути сбрасывалось со сточными водами, 0,2 кг присутствовало в стеклобое, а 20,5 кг дегазировалось в воздух помещений и (через дверные и оконные проемы) поступало в соседние помещения и во внешнюю среду, сорбировалось строительными конструкциями, одеждой и обувью рабочих и т. п. Например, по данным Саранского центра Госсанэпиднадзора, в воздухе гардеробов, где хранится одежда рабочих завода, концентрации ртути стабильно превышают ПДК в 2 раза [5, 41].

Расчетный баланс ртути и основные статьи ее технологических потерь на Саранском электроламповом заводе в 2001 г. приведены в табл. 13. Как видим, 43,5 кг ртути (1,11% от общей массы использованного на предприятии металла) поступило в атмосферу, более 165 кг (4,24%) ушло в канализацию; 239 кг ртути (более 10%) в составе ступы, уловленной пыли и стеклобоя вывезено на свалку, а 1000 кг некондиционной металлической ртути отправлено на вторичную переработку на специальное предприятие (по крайней мере, так декларируется в официальном документе [4]). Прямые безвозвратные потери металла (в атмосферу и в канализацию) составили 208,8 кг (5,4% от общего количества использованной ртути). Судя по всему, существенная часть ртути, поступающей в атмосферу в виде паров, осаждается непосредственно в пределах заводской территории, где в верхнем слое почвогрунтов, отличающихся высокими уровнями этого металла, за 40-летний период функционирования Саранского завода накопилось не менее 1 т ртути [30]. Удельные потери металла на Саранском заводе существенно выше, нежели на Смоленском заводе (табл. 14).

В 2001 г. Смоленский и Саранский заводы использовали на изготовление люминесцентных ламп в общей сложности 6,5 т ртути, т. е. 87% общего потребления металла российской электроламповой промышленностью. Остальное количество ртути применялось в производстве других групп ртутных ламп на Саранском заводе специальных источников света и электровакуумного стекла («СИС-ЭВС») и «Лисма-ВНИИИС» (в сумме – около 500 кг) и на ряде других предприятий (также ~ 500 кг металла). Для оценки баланса ртути на этих заводах использовались данные по структуре распределения ртути в ходе техноло-

гических процессов, установленные для Смоленского завода. Расчетный баланс потерь ртути на Саранском заводе приведен в табл. 15.

Таблица 13. Баланс потерь ртути на Саранском электроламповом заводе в 2001 г.

Виды потерь ртути	Технологические потери			Примечание
	кг	Доля, %		
		от общих потерь	от использования	
Твердые отходы, подлежащие переработке				
Некондиционная ртуть (механические потери)	1000	62,42	25,62	Отправляется на вторичную переработку
Ртуть, содержащаяся в ртутной ступпе, – продукте демеркуризации брака и загрязненного стеклобоя	236	14,73	6,05	Ступпа, судя по всему, вывозится на свалку. Есть сведения, что на свалку ежегодно выбрасываются тысячи бракованных люминесцентных ламп (Вечерний Саранск, 23.02.04).
Фильтры воздухо-очистного оборудования цеха сборки ламп	154	9,61	3,95	Ртуть остается на фильтрах
Ртуть в пыли, уловленной очистными установками	3	0,19	0,08	Вывозится на свалку (?)
Твердые отходы, направляемые на свалку				
Стеклобой (после демеркуризации)	0,2	0,01	0,005	Вывозится на свалку
Безвозвратные потери ртути в канализацию				
Сточные воды (растворенная ртуть)	0,3	0,02	0,008	Поступают на локальные очистные сооружения, затем - в канализацию
Мелкодисперсная металлическая ртуть	165	10,3	4,23	Частично аккумулируется в ртутной канализации, частично осаждается со шламами на заводских очистных сооружениях, частично уходит в канализацию и поступает на общегородские очистные сооружения
Безвозвратные потери ртути в атмосферу				
Организованный выброс паров ртути (через вентсистему цеха сборки ламп)	22	1,38	0,56	Поступают во внешнюю среду (городскую атмосферу)
Неорганизованный выброс паров ртути в воздух	20,5	1,28	0,53	Поступают в атмосферу через дверные и оконные проемы, сорбируются конструкциями и т. п.
Ртуть в промышленной пыли	1	0,06	0,02	Поступает в атмосферу
ИТОГО	1602	100	41,05	

Таблица 14. Удельные потери ртути при производстве люминесцентных ламп

Потери ртути	Ртуть, мг/на одну лампу	
	Саранский завод	Смоленский завод
Общие	45,77	23,32
Механические потери	33,29	10,76
В канализацию	4,72	2,72
В воздух (до очистки выбросов), пары ртути	5,61	3,09

Таблица 15. Баланс распределения и технологических потерь ртути на других российских электроламповых предприятиях в 2001 г., кг

Распределение ртути	СИС-ЭВС и ВНИИИС ¹	Остальные
В конечную продукцию	340	340
Общие технологические потери, в том числе:	160	160
Некондиционная металлическая ртуть (механические потери)	73,9	73,9
Ртуть, содержащаяся в ртутной ступпе	42,9	42,9
Ртуть, уловленная фильтрами воздухо-очистного оборудования ²	19,3	19,3
Ртуть в пыли, уловленной очистными установками	0,6	0,6
Стеклобой (после демеркуризации)	0,01	0,01
Растворенная ртуть (сточные воды)	0,03	0,03
Мелкодисперсная металлическая ртуть (в канализацию)	18,6	18,6
Организованный выброс паров ртути (после очистки) ²	2,2	2,2
Неорганизованный выброс паров ртути в воздух	2,6	2,6
Поступление ртути с выбросами пыли в атмосферу	0,2	0,2

¹ Расположены рядом в северной промышленной зоне г. Саранска, до 90% ртути используется на СИС-ЭВС.

² Рассчитано при эффективности очистки в 90%.

В табл. 16 приводятся расчетные данные, характеризующие общий баланс металлической ртути, использованной в 2001 г. отечественной электроламповой промышленностью. Как видим, технологические потери металла достаточно велики и в общей сложности составляют 2753 кг (или 36,7% от общего его использованного количества), при этом более 1007 кг ртути утеряно безвозвратно (выбросы в атмосферу, потери в канализацию, захоронение в составе твердых отходов на свалках) и в том или ином виде (форме) рассеялось в производственной окружающей среде (табл. 17).

Таблица 16. Баланс распределения ртути в российской электроламповой промышленности, 2001 г.

Показатель	кг	% от общего потребления	
Общее потребление ртути, в том числе:	7500	100	
В конечную продукцию	4747	63,3	
Технологические потери	2753	36,7	
Структура технологических потерь ртути:			
	кг	% от потребления	% от потерь
Твердые отходы, подлежащие переработке			
Некондиционная металлическая ртуть (механические потери) ¹	1531	20,4	55,6
Ртуть, содержащаяся в ртутной ступпе, - продукте демеркуризации брака и загрязненного стеклобоя ²	544,8	7,3	19,8
Ртуть, уловленная фильтрами воздухо-очистного оборудования ³	214,6	2,9	7,8
Ртуть в пыли, уловленной очистным оборудованием ⁴	7,2	0,1	0,3
Твердые отходы, направляемые на свалку			
Стеклобой (после демеркуризации) ⁵	0,3	0,004	0,01
Безвозвратные потери ртути в канализацию			
Ртуть, растворенная в сточных водах	0,5	0,006	0,01
Мелкодисперсная металлическая ртуть ⁶	299	4	10,8
Безвозвратные потери ртути в атмосферу			
Организованный выброс паров ртути (через вентиляционную систему цеха сборки ламп; после прохождения фильтров)	114,4	1,5	4,2
Неорганизованный выброс паров ртути в воздух ⁷	38,9	0,5	1,4
Ртуть в промышленной пыли, выбрасываемой в атмосферу	2,4	0,02	0,08

¹ По имеющимся сведениям, направляется на вторичную переработку (очистку).

² В настоящее время ступпа в основном временно размещается на свалках.

³ На некоторых предприятиях сорбенты, улавливающие ртуть, иногда заменяются, использованные отправляются на вторичную переработку.

⁴ Уловленная пыль вывозится на свалку.

⁵ Вывозится на свалку, где размещается в бункерах временного хранения.

⁶ Ртуть, которая не улавливается ловушками ртутной канализации.

⁷ В воздух рабочей зоны и во внешнюю среду.

Таблица 17. Поставка ртути в окружающую среду предприятиями электроламповой промышленности России, 2001 г.

Поступление ртути	кг	доля, %
В атмосферу (в виде паров металла и в составе пыли) ¹	155,7	15,5
В канализацию (растворенная ртуть стоков и мелкодисперсная металлическая ртуть) ²	299,5	29,7
В почвы (вывоз на свалку ртутной ступпы, стеклобоя, уловленной пыли) ³	552,3	54,8
Итого	1007,5	100

¹ 98,5% – парогазовая фракция.

² 99,8% – мелкодисперсная металлическая ртуть.

³ 98,6% в составе ртутной ступпы.

По имеющимся сведениям [43], в США эмиссия ртути в атмосферу при производстве люминесцентных ламп составляла 4 кг на одну тонну использованного в технологическом процессе металла. Аналогичный показатель для российской электроламповой промышленности достигает почти 21 кг.

Необходимо отметить, что если твердые промышленные отходы отечественных электроламповых заводов, вывозимые на свалки (полигоны), размещаются (по крайней мере, так декларируется) в особых бункерах, которые в определенной мере сдерживают миграцию металла в окружающую среду, то ртуть, поступающая с выбросами в атмосферу и сбросами в канализацию (в сумме около 0,5 т), в конечном счете активно включается в природные циклы геохимической миграции и участвует в формировании зон техногенного загрязнения.

Профессиональное воздействие ртути

Как уже отмечалось выше, технологический процесс производства люминесцентных ламп, применяемый на отечественных заводах, включает большой удельный вес ручного труда, характеризуется значительными потерями ртути, особенно на линиях сборки, и отличается наличием неблагоприятных производственных факторов (высокие концентрации паров ртути, других химических элементов, некоторых органических соединений в воздухе рабочей зоны, практически во все сезоны года повышенная температура воздуха, повышенный шум, инфракрасное и электромагнитное излучение и др.). Интенсивное загрязнение помещений парами ртути и наличие других вредных производственных факторов обуславливают развитие у работников электроламповых заводов профессиональных заболеваний (прежде всего, хронической ртутной интоксикации) и различных функциональных нарушений в организме.

Так, на Смоленском электроламповом заводе в начале 2002 г. в общей сложности работало более 2440 человек, из которых почти 65% трудились во вредных условиях, более 33% – в контакте с химическими веществами, около 43% – в условиях повышенного шума, около 23% – в условиях неблагоприятного микроклимата; около 10% рабочих имели постоянный контакт с парами ртути (концентрации которых стабильно варьировались в пределах 28-60 мкг/м³, причем половина рабочих находилась в помещениях, где содержания паров ртути превышали уровень в 50 мкг/м³), более 9% – эпизодический контакт с парами ртути (при их средней концентрации 15 мкг/м³). Наибольшему воздействию паров ртути подвержены работники таких специальностей, как откачники-

вакуумщики, наладчики различного технологического оборудования, цоколевщики, слесари-ремонтники. На Смоленском электроламповом заводе ежегодно выявляется до 30-60 лиц с подозрением на профессиональную интоксикацию парами ртути. Кроме того, фиксируется до 30-90 носителей ртути, т. е. работников, у которых ртуть в повышенных концентрациях обнаруживается в моче. В общей сложности в период с 1970 по 2001 г. у рабочих предприятия было установлено 67 случаев возникновения хронической ртутной интоксикации (в том числе в 1997-2001 гг. – 5 случаев) [2].

Выборочные обследования, выполненные в последние годы на Смоленском заводе, не выявили какой-либо прямой зависимости содержания ртути в моче работников цеха сборки люминесцентных ламп от стажа работы в условиях «ртутной» атмосферы (рис. 3).

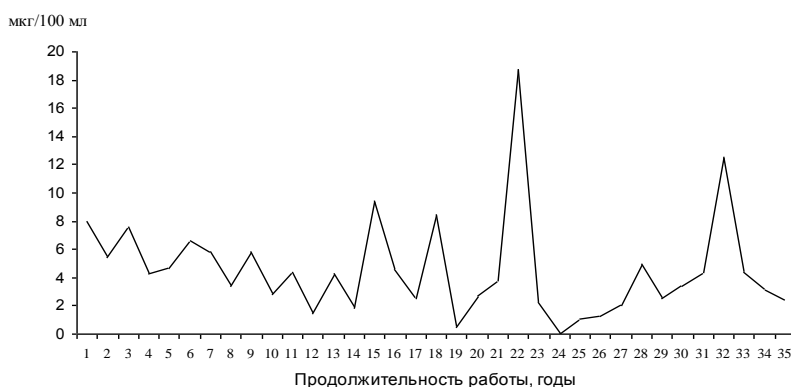


Рис. 3. Уровни содержания ртути в моче рабочих с разным стажем работы в цехе сборки люминесцентных ламп (Смоленский электроламповый завод).

В целом уровни содержания ртути в моче варьировались в широких пределах (от 0,47 до 18,77 мкг/100 мл), в среднем для всей выборки составляя 4,62 мкг/100 мл. Есть сведения [16а], что нормальным содержанием ртути в моче человека считается уровень в 1 мкг/100 мл. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что практически все обследованные работники Смоленского электролампового завода являются «носителями» ртути. Согласно материалам ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения) [3а], типичное среднее контрольное значение для содержания ртути в моче (используемой в качестве индикаторного компонента) составляет 0,4 мкг/100 мл, т. е. интенсивность концентрирования ртути в моче большинства обследованных рабочих

на один-два порядка и даже более превышают указанный контрольный уровень. Установлено также, что при концентрации ртути в моче в 15 мкг/100 мл у профессиональных рабочих, систематически находящихся (по крайней мере, в течение 6 месяцев 5 раз в неделю при средней концентрации паров ртути в воздухе 50 мкг/м³) в контакте с парами ртути, проявляются различные неспецифические симптомы ртутного отравления [10а]. По данным Центра Госсанэпиднадзора города Смоленска, хроническая ртутная интоксикация обычно выявлялась у лиц со стажем работы в контакте с парами ртути не менее 10 лет. В 1990-1999 гг. в цехе сборки люминесцентных ламп Смоленского электролампового завода произошла смена стажированных рабочих новыми работниками, ранее не имевших профессионального контакта с ртутью. Очевидно, что если не принять необходимых мер, то при существующих на заводе санитарно-гигиенических условиях в ближайшее время следует ожидать увеличения числа профессиональных заболеваний у рабочих указанного цеха. Необходимо отметить, что при систематическом нахождении человека в помещении с высоким уровнем содержания паров ртути возможно выраженное поглощение ртути не только ингаляционным путем, но и через кожу [10а].

Еще более сложная санитарно-гигиеническая ситуация сложилась в г. Саранске. Так, здесь в городской Центр Госсанэпиднадзора ежегодно обращаются около 200 работников электролампового завода («Лисма-СЭЛЗ») с подозрением на ртутную интоксикацию, причем в конечном счете от 18 до 22 человек получают диагноз «профзаболевание» [5, 41]. К 2001 г. диагноз «профессиональная ртутная интоксикация» установлен 287 работникам (в том числе, в 1996-2001 гг. – 86 работникам) СЭЛЗ, из которых более 90% – женщины (в настоящее время на сборке люминесцентных ламп работают 1050 человек, из которых 90% составляют женщины) (рис. 4). Наиболее подвержены ртутной интоксикации работники основных профессий – откатчицы (31%), заварщицы (15%), цоколевщицы (14%). По последним сведениям [42], диагноз «профессиональная ртутная интоксикация» установлен уже 331 работнику завода (90% из них – женщины).

Результаты исследований, выполненных в 1989 г., показали, что у более 50% из числа обследованных рабочих «Лисма-СЭЛЗ» содержания ртути в волосах были в 1,5 раза выше, нежели ее концентрации в волосах людей контрольной группы; примерно у 30% рабочих наблюдалось более чем трехкратное превышение фоновых уровней, у отдельных работников содержания ртути в моче достигали физиологического уровня (2 мкг/г) [3]. В 1990 г. органами Госсанэпиднадзора г. Саранска были выполнены специальные исследования состояния здоровья и изучена клиническая картина течения беременности у работниц Саранского

электrolампового завода, испытывающих профессиональное воздействие ртути (опытная группа), и у женщин контрольной группы, не имеющих профессионального контакта с этим металлом [3]. Установлено, что во время беременности и при родах у женщин обеих групп фиксировались различные осложнения, однако у женщин опытной группы они проявлялись чаще (табл. 18). Так, продолжительность родов у первородящих работниц завода СЭЛЗ была больше, нежели у женщин контрольной группы.

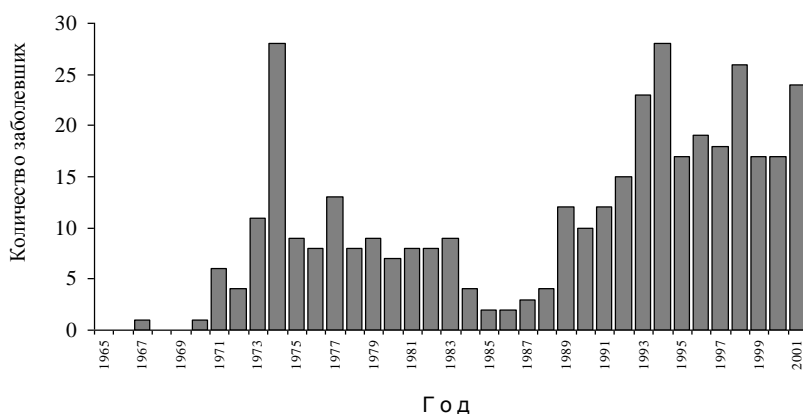


Рис. 4. Динамика возникновения хронической ртутной интоксикации у работников Саранского электrolампового завода [22].

Поздний токсикоз в опытной группе в сравнении с контрольной встречался достоверно чаще; у женщин, имеющих профессиональный контакт с металлической ртутью, в два раза чаще регистрировались преждевременные роды, в 2-4 раза чаще отмечалась выраженная анемия, фиксировалась тенденция в изменении состояния периферической крови (повышенное содержание лейкоцитов, пониженное СОЭ), чаще наблюдалась гипотрофия плода, гипертрофия плода, чаще встречались случаи рождения двойняшек. У работниц цеха сборки люминесцентных ламп, трудовой стаж которых во вредных производственных условиях составлял более 5 лет, были обнаружены расстройства менструальной функции (у 23,3%; в контрольной группе – 16,1%), фиброма матки (7,8% против 5,6% в контрольной группе). В прямой зависимости от стажа работы в условиях воздействия ртути находилась частота развития маточно-плацентарной недостаточности. В биосубстратах женщин

обнаруживалась ртуть (в моче до 90 мкг/л). Дети, родившиеся у работниц Саранского электролампового завода, отличались замедленным развитием (табл. 19).

Таблица 18. Частота осложнений (в %) при беременности и родах у женщин опытной (работниц СЭЛЗ) и контрольной групп, г. Саранск [3]

Характер осложнений	Контрольная группа	Работницы СЭЛЗ
Угроза прерывания беременности	8,8	10,4
Токсикоз поздний	2,2	9,5
Преждевременные роды	4,2	9,5
Нефропатия	6,9	8,5
Анемия	3,8	7,5
Слабость родовой деятельности	10,4	15,0
Продолжительность родов (в час.)	9,3	11,9

Таблица 19. Состояние детей, родившихся у женщин опытной (работницы СЭЛЗ) и контрольной групп, г. Саранск [3]

Показатель	Контрольная группа	Работницы СЭЛЗ
Доля детей (%), имеющих индекс Ангар < 9	12,2	21,7
Количество двойняшек на 100 родившихся	0,4	1,0
Гипотрофия плода (%)	14,4	25,5
Гипертрофия плода (%)	8,4	15,1
Вес (г): мальчики	3423	3323
Вес (г): девочки	3333	3289
Рост (см): мальчики	50,9	50,2
Рост (см): девочки	50,6	50,0

Согласно [22, 42], работники цеха сборки люминесцентных ламп Саранского электролампового завода («Лисма-СЭЛЗ») страдают заболеваниями сердечно-сосудистой системы, мочеполовой системы, печени и поджелудочной железы, почек и мочевыводящих путей. Функциональные расстройства нервной системы и вегето-сосудистая дистония, в существенной мере характерные именно для негативного воздействия на организм человека ртути, наблюдаются у них в 4 раза чаще, чем, например, у работников СИС-ЭВС (табл. 20). Беременность работниц цеха в 70-80% случаев прерывалась самопроизвольно, у остальных заканчивалась родами лишь при проведении сохраняющей терапии. Новорожденные этих женщин имеют пониженную массу тела, отстают в физическом развитии, в три раза чаще болеют вирусными и другими инфек-

циями, нежели дети женщин, не имевших профессионального контакта с ртутью. Ртуть обнаруживалась в надпочечниках, почках, печени, сердце, вилочной железе мертворожденных, в крови, плаценте, грудном молоке женщин, плодном яйце после искусственного аборта.

Таблица 20. Заболеваемость вегето-сосудистой дистонией и расстройствами нервной системы работников СЭЛЗ и СИС-ЭВС [22]

Работники	Случаи заболеваний на 100 работников *		
	Среди всех работников	Среди женщин	Среди мужчин
СЭЛЗ	31,9	35,5	24,5
СИС-ЭВС	8,2	9,3	5,6

* Средние показатели за 1985-1994 гг.

По данным итальянских авторов [39], изучавших состояние репродуктивной функции у женщин, работающих на производстве ртутных ламп, частота нарушения менструальной функции, субфертильность и неблагоприятный исход беременности был несколько выше, чем среди других работниц электроламповых заводов, не имевших прямого контакта с металлической ртутью. Нидерландские исследователи [47] указывают на развитие тремора пальцев у рабочих (возраст 28-61 лет, стаж работы 0,5-19 лет) завода по производству люминесцентных ламп. Авторами было сделано заключение, что производственное воздействие паров ртути в концентрациях даже ниже установленного нормативного уровня приводит к нарастанию тремора пальцев. В Бразилии у 78,9% рабочих завода по производству ртутных ламп были обнаружены симптомы поражения нервной системы, обусловленные воздействием ртути (Zavariz, Glina, 1992). Необходимо отметить, что на современных европейских электроламповых заводах применяются автоматизированные линии сборки люминесцентных ламп, практически исключаящие прямой контакт работников с «открытой» ртутью.

Ртуть в окружающей среде в районе электроламповых заводов

Особенности воздействия производства ртутных источников света на среду обитания рассмотрим на примере светотехнических заводов, расположенных в некоторых городах СНГ (Смоленске, Москве, Полтаве, Ереване, Саранске).

В пределах г. Смоленска выделяются 4 района: Центральный (сосредоточено большинство общественных, учебных, культурных, лечебных учреждений), Заднепровский (старый промышленный район), Юго-восточный, или Поповка (относительно новый район, где находится новая промплощадка электролампового завода, другие предприятия), Юго-западный (новый район, старая промплощадка электролампового завода, завод холодильников, молочный и др.). Еще в 1988 г. в печати сообщалось об интенсивном загрязнении городской среды, общественных и жилых зданий ртутью, которое связывалось как с выбросами электролампового завода, так и с разносом металлической ртути по территории города (Медицинская газета, 13.01.1988).

В середине 1980-х – начале 1990-х гг. в городе был выполнен комплекс эколого-геохимических исследований [7, 19], результаты которых послужили основой для рассмотрения сложившейся в городе экологической ситуации. В частности, материалы почвенной площадной съемки г. Смоленска показали, что практически вся его территория перекрывается техногенной аномалией ртути с невысокой интенсивностью ее концентрирования в верхнем горизонте почв (около 2-х K_C – коэффициентов концентрации относительно фоновое содержание ртути в почвах); отдельными мозаичными по форме «пятнами» встречались участки, где K_C ртути составляли 2-4, 4-8, а также незначительные по площади участки со значениями K_C ртути в интервалах 8-16 и 16-32. В пределах новой промплощадки электролампового завода уровни содержания ртути в почвах в среднем в 4-8 раз превышали фоновые концентрации. Узел старого старой промплощадки электролампового завода с прилегающими дачными поселками, занимающий $\sim 5 \text{ км}^2$, характеризовался максимальными концентрациями ртути в почвах (рис. 5). Результаты снеговой съемки территории города показали (сетка опробования – $1 \times 1 \text{ км}$; исследовалась пыль, осажденная снегом), что аномальные содержания ртути в пыли фиксировались на большей его части, причем основной фон создавался уровнями ртути в 2-4 раза превышающие фоновые концентрации. Более интенсивные аномалии металла ($K_C = 16-32$) отмечались в районах новой (площадью $\sim 5 \text{ км}^2$) и особенно старой ($\sim 7 \text{ км}^2$) промплощадок электролампового завода (рис. 6). В донных отложениях р. Ясенной уровни ртути в среднем превышали фон в 6 раз, причем техногенные аномалии прослеживались вниз по реке на расстояние более 5 км.

По данным Л.С. Соколова [19], в г. Смоленске в середине 1980-х гг. концентрации паров ртути в атмосферном воздухе вблизи главной проходной старой промплощадки электролампового завода варьировались в пределах $0,12-6 \text{ мкг/м}^3$ (в среднем – $0,9-1 \text{ мкг/м}^3$); на удалении в 1 км от завода они снижались до $0,1 \text{ мкг/м}^3$. Зона факельного влияния,

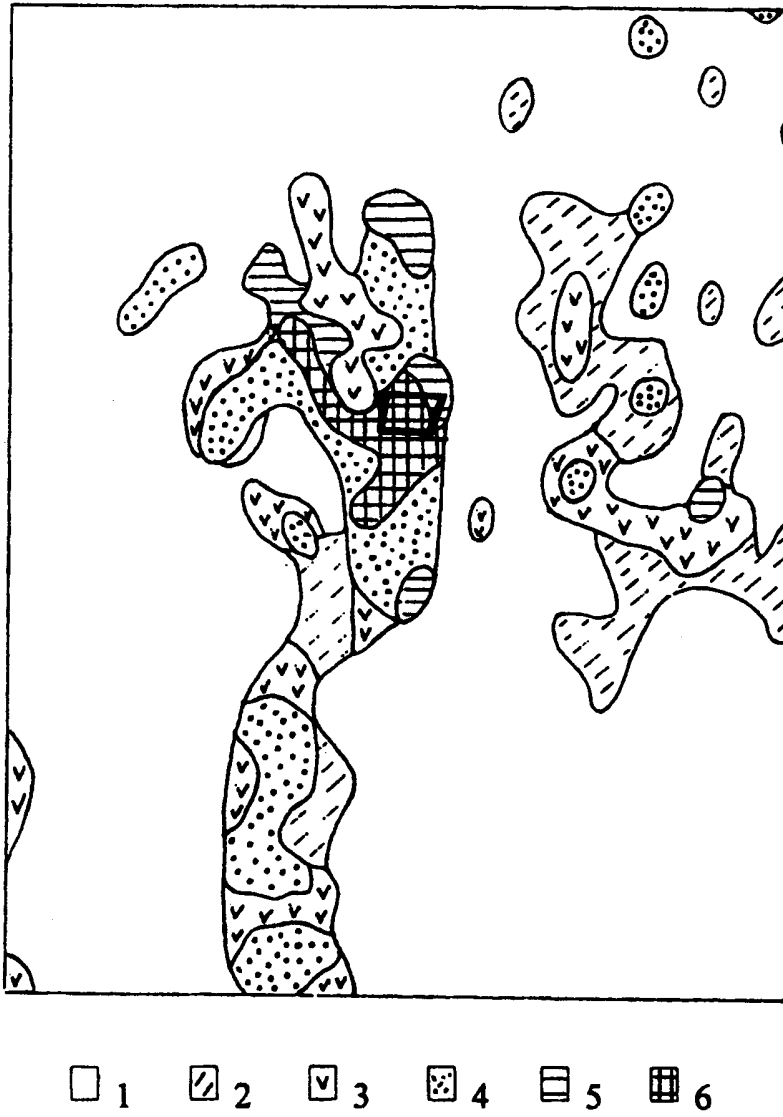


Рис. 5. Ртуть в почвах в окрестностях старой промплощадки (граница которой показана жирной линией) Смоленского электролампового завода (значения K_C : 1 - менее 2; 2 - 2-4; 3 - 4-8; 4 - 8-16; 5 - 16-32; 6 - более 32) [7].

фиксируемая по изолинии концентраций паров ртути в воздухе в $0,01 \text{ мкг/м}^3$, прослеживалась на расстояние до 3-4 км при ширине до 1 км.

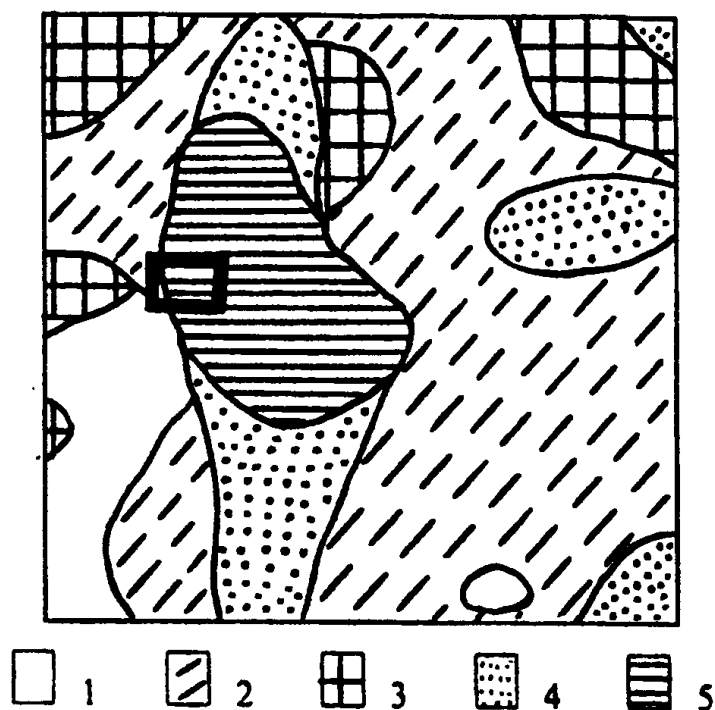


Рис. 6. Ртуть в снеговом покрове (пыль) в окрестностях старой промплощадки (граница которой показана жирной линией) Смоленского электролампового завода (значения K_C : 1 – менее 2; 2 – 2-4; 3 – 4-8; 4 – 8=16; 5 – 16-32) [7].

В г. Смоленске, как указывалось выше, было отмечено загрязнение ртутью зданий, в том числе школ и детских садов. Кроме того, из 1022 обследованных городских детей у 280 из них в моче ртуть была обнаружена в концентрациях, превышающих норму (Медицинская газета, 13.01.1988). Повышенные уровни различных металлов, в том числе ртути, были обнаружены в волосах детей, проживающих в промышленной зоне Поповка (табл. 21). Характерно, что максимальные концентрации ртути в волосах некоторых детей здесь достигали 15 мкг/г , а в юго-восточном районе города – $12,5 \text{ мкг/г}$, причем в первом районе примерно у 18% детей ее содержания превышали минимально-аномальный уровень, во втором районе – только у 9% детей.

Таблица 21. Средние содержания металлов в волосах детского населения города Смоленска, мкг/г [7]

Металл	Детские дошкольные учреждения		Физиологический уровень
	ул. Кловская (местный фон)	ул. Ломоносова (промзона Поповка)	
Медь	7,7	12,5	12-15
Никель	2,6	7,8	1-2
Цинк	120	180	150
Кадмий	0,11	0,43	1
Ртуть	0,87	1,15	1

Выборочные исследования, выполненные в последние годы в окрестностях Смоленского электролампового завода, свидетельствует о том, что в различных компонентах окружающей среды наблюдаются повышенные содержания ртути (табл. 22). Обращают на себя внимание высокие уровни паров ртути в почвенном воздухе, что априори указывает на значимость загрязненных почв как вторичного источника поступления данного металла в среду обитания. Результаты наблюдений (апрель 2003 г.) показали, что в пределах промплощадки Смоленского электролампового завода уровни содержания паров ртути в приземном слое атмосферного воздуха варьировались в интервале 0,052-0,077 мкг/м³, в ближайшей к заводу жилой зоне – 0,023-0,039 мкг/м³ (при типичном фоне 0,010-0,015 мкг/м³ и ПДК в воздухе населенных мест 0,3 мкг/м³).

Таблица 22. Содержание (среднее, в скобках – интервал) ртути в различных компонентах окружающей среды в окрестностях промзоны ОАО «Свет»

Приземный слой атмосферного воздуха, мкг/м ³	Почвенный воздух, мкг/м ³	Почва, мкг/кг
<i>По периметру составного цеха</i>		
0,139 (0,054-0,264)	0,714 (0,222-0,895)	0,43 (0,15-1,11)
<i>Граница промплощадки</i>		
0,235 (0,00012-0,472)	1,014 (0,640-3,437)	0,41 (0,05-1,0)
<i>Возле проходной</i>		
-	-	0,2
<i>За пределами промплощадки</i>		
-	-	0,06-0,2
<i>Типичное фоновое содержание</i>		
0,010-0,015	0,015-0,020	0,03-0,06

В северо-восточной части г. Москвы расположен комплекс электротехнических заводов, ранее входивших в объединения «Московский электроламповый завод» и «Электрозавод им. Куйбышева». Сегодня на базе этих заводов функционируют предприятия, одно из которых – «Московский электроламповый завод» (МЭЛЗ) – производит различные источники света (компактные люминесцентные лампы, лампы накаливания, лампы для киноустановок), электронно-оптические преобразователи, другие приборы и изделия. Исследования середины 1980-х гг. показали, что в районе МЭЛЗ уровни паров ртути в воздухе были невысокими и варьировались в пределах 0,018-0,022 мкг/м³ [19].

В г. Полтаве (Украина) функционирует крупнейший в стране завод по производству ртутных ламп, который расположен на северо-западной окраине города. Завод основан в 1963 г. Ежегодное (в конце 1980-х – начало 1990-х гг.) потребление ртути на этом предприятии составляло примерно 6 т; основное количество ее (более 90%) использовалась при производстве люминесцентных ламп [10]. В настоящее время завод (более 1500 рабочих) специализируется на изготовлении газоразрядных ламп высокого давления, люминесцентных ламп (более 200 видов), ламп специального назначения, натриевых ламп высокого давления и др. Общая площадь территории предприятия составляет 291,1 тыс. м², площадь застройки – 153,58 тыс. м², площадь под дорогами – 50,7 тыс. м², длина ограждения – 1,64 км.

Исследования, выполненные вблизи территории завода, в целом свидетельствуют о сравнительно невысоком уровне загрязнения почв и атмосферного воздуха ртутью [6]. Тем не менее в почвах практически повсеместно отмечались ее концентрации, превышающие природный фон. Так, уровни содержания металла колебались в пределах 0,09-1,5 мг/кг, составляя в среднем около 0,41 мг/кг, тогда как фон в почвах, по данным авторов цитируемой работы, оценивался в 0,05 мг/кг. Содержания паров ртути в приземном слое атмосферного воздуха вблизи завода достигали 0,07-0,125 мкг/м³ и снижались до 0,01-0,03 мкг/м³ уже на незначительном удалении от предприятия, т. е. по сути приближались к фоновым концентрациям.

По данным Л.С. Соколова и др. [19], в середине 1980-х гг. содержания паров ртути в приземном слое атмосферного воздуха вблизи Полтавского завода были выше и составляли 0,8-1,5 мкг/м³, уменьшаясь до 0,1 мкг/м³ и менее на расстоянии в 500 м от предприятия. В зону с повышенным содержанием ртути (0,01-0,1 мкг/м³) попадали расположенные рядом с заводом жилые кварталы. Уровни содержания металла в верхнем слое почв, по данным авторов цитируемой работы, близ завода составляли 0,7-0,8 мг/кг, на расстоянии в 1 км – 0,25-0,30 мг/кг, в 3 км – 0,12-0,15 мг/кг.

В столице Армении – г. Ереване – расположены электроламповый завод и опытный светотехнический завод. Экологическая обстановка в городе в свое время определялась сложным влиянием природных факторов и многих промышленных предприятий (среди которых, кроме упомянутых, кабельный, электромеханический, автомобильный, станкостроительный, химический заводы и др.). Имеющиеся данные позволяют в определенной степени «отделить» специфику воздействия на окружающую среду предприятий электротехнической промышленности. Анализ сложившейся здесь экологической ситуации дается по материалам МОМГЭ ИМГРЭ и ИМГРЭ [15, 18, 19]. Общее потребление ртути указанными электроламповым и светотехническим заводами в середине 1980-х гг. составляло ~ 4 т в год. Установлено, что наиболее интенсивное загрязнение почв ртутью приурочено к зоне электролампового завода, где ее средние концентрации более чем в 16 раз превышали кларк (=0,045 мг/кг). В почвах промплощадки светотехнического завода концентрации металла составляли 0,6-0,9 мг/кг ($K_c=13-18$). Локальные аномалии ртути прослеживались также в почвах жилых массивов, прилегающих к промзонам электротехнических заводов.

Результаты газо-ртутной съемки показали, что основным источником загрязнения атмосферного воздуха ртутью в г. Ереване являлся электроламповый завод, прежде всего, цех по производству люминесцентных ламп. Непосредственно в цехе уровни содержания паров ртути в воздухе достигали 60 мкг/м³ (в 6 раз выше максимальной ПДК для рабочей зоны). На территории завода они снижались до 0,1-3 мкг/м³, причем максимальные концентрации закономерно фиксировались возле указанного цеха. Зона влияния завода прослеживалась к северо-востоку и к юго-западу на расстояния до 3-4 км, где концентрации ртути превышали фоновый уровень паров ртути в атмосферном воздухе (составляющий не более 3-4 нг/м³) в 16 раз и более; на расстоянии 5 км – примерно в 4-16 раз, а зона с концентрациями паров металла, превышающими фон в 2-4 раза, отмечалась на удалении от завода до 7-8 км и более. В общем случае для распределения ртути в воздухе характерна временная неоднородность. Так, на удалении в 0,2 км от электролампового завода (ЕЭЛЗ) ее концентрации наблюдения изменялись от 1 до 354 нг/м³ (среднее 59), на расстоянии в 0,3 км – от 2 до 185 нг/м³ (среднее 38). Площадь городской территории, на которой установлены аномальные концентрации паров ртути в воздухе, составляла около 40 км² (~ 30% территории города). Результаты разовых наблюдений в подфакельном от завода направлении и исследований на режимных точках позволили по направлению ветрового переноса установить два максимума концентраций паров ртути в приземном слое воздуха (рис. 7). Первый максимум, как считают авторы [19], связан с влиянием цеха по

изготовлению люминесцентных ламп, второй – расположен в зоне раскрытия ртутного факела из дымовой трубы.

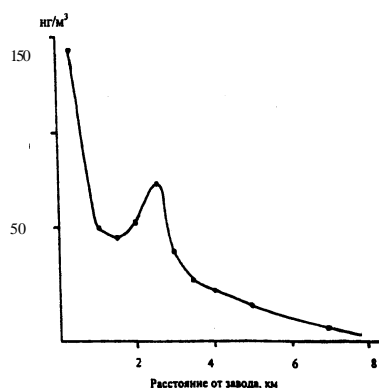


Рис. 7. Распределение паров ртути в атмосферном воздухе в зоне влияния Ереванского электролампового завода

Город Саранск – столица Республики Мордовии – является крупным российским центром электротехнической промышленности. Как отмечалось выше, здесь расположены предприятия ОАО «Лисма»: Саранский электроламповый завод, завод специальных источников света и электровакуумного стекла, научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт источников света, на которых осуществляется производство различных ртутных ламп.

Саранский электроламповый завод (СЭЛЗ) производит лампы накаливания и газоразрядные ртутные лампы. С 1965 г. здесь ежегодно изготавливается до 30-35 млн. шт. люминесцентных (трубчатых) ламп. Расчеты показывают, что общая эмиссия ртути в городскую среду за весь период функционирования предприятия составляет не менее 10-12 т [3]. В конце 1980-х гг. завод ежегодно выбрасывал в атмосферу более 960 т вредных веществ, в том числе около 69 т пыли; на локальных заводских очистных сооружениях образовывалось до 300 т/год шлама; объемы отводимых сточных вод составляли 1,75 млн. м³/год. Завод специальных источников света и электровакуумного стекла (СИС-ЭВС) специализируется на выпуске источников света, светильников, пускорегулирующей аппаратуры, электровакуумного стекла и другой светотехнической продукции. На городскую свалку в конце 1980-х гг. ежегодно вывозилось в виде твердых отходов до 450 т графита, 400 т шлама гальванического, 12 т бракованных ртутных ламп. Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт источников света (ВНИИИС) имеет производственные участки, где производятся лампы накаливания, кварцевые лампы с галогенным циклом, люминесцентные низкого давления, газоразрядные ультрафиолетового излучения. В составе твердых отходов, ежегодно направляемых в 1980-х гг. на свалку, присутствовали бытовой мусор (25 т/год), стекломой чистой (22 т), стекломой, загрязненный люминофором (7 т), бракованные люминесцентные лампы (2,5 т) [23, 29, 30, 38].

В планировочной структуре г. Саранска выделяются несколько районов, отличающихся функциональной значимостью и состоянием городской среды: 1) Светотехника (северо-западная часть города, жилой район, испытывает влияние Северной промзоны); 2) Северная промзона (заводы СИС-ЭВС, полупроводниковых изделий, телевизионный, предприятия стройиндустрии, с юга к ним примыкают заводы автосамосвалов, кабельный, инструментальный и др.); 3) Северный (жилой район, расположен к северо-востоку от Северной промзоны рядом с городской ТЭЦ-2); 4) Заречный (жилой район в западной части города, в пределах которого находится завод резинотехнических изделий); 5) Центр города (основная и наиболее старая жилая часть города, здесь же расположены заводы СЭЛЗ, силовой электроники, приборостроительный, по производству медпрепаратов); 6) Октябрьский (юго-западный жилой район города); 7) Парковый (юго-восточный жилой район города); 8) Южная промзона (предприятия пищевой промышленности, заводы медоборудования и электроники).

Основной водной артерией города является река Инсар, которая (вместе с притоками – речками Лепелейкой, Тавлой, Саранкой, Пензяткой, ручьем Никитинским и др.) служит приемником сточных вод, сбрасываемых с локальных и общегородских очистных сооружений, и поверхностного стока, формирующегося в пределах урбанизированной территории и пригорода (ливневая канализация в городе отсутствует). В 70 км ниже г. Саранска Инсар впадает в реку Алатырь (левый приток реки Суры). Водный сток р. Инсар ниже города в среднем примерно на 20% формируется из поступающих сточных вод.

Для выявления структуры и масштабов загрязнения территории города химическими элементами в его пределах была проведена площадная геохимическая съемка, базирующаяся на опробовании (16 проб на 1 км²) верхнего слоя почв [3]. Анализ данных по пространственной структуре загрязнения территории города ртутью и особенностей ее распределения в верхнем горизонте городских почв свидетельствует о том, что для подавляющей части Саранска загрязнение его территории этим токсичным металлом не является критическим (табл. 23). Так, более 80% площади города характеризуется фоновыми уровнями ртути в почвах, а около 10% территории отличается ее слабоинтенсивными аномалиями ($K_c=1,5-3$). Наиболее значимые по интенсивности и размерам зоны ртутного загрязнения, фиксируемые почвами, закономерно приурочены к промплощадкам заводов СЭЛЗ и СИС-ЭВС и их окрестностям, району ТЭЦ-2, а также к центральной части города. Здесь наблюдались уровни ртути, превышающие фон в 3-10, 10-30 раз и более. В общем случае в пределах г. Саранска четко выделяются три основные зоны максимального накопления поллютантов в почвах (включая

ртути): Южная промышленная зона, центральная часть города и Северная промышленная зона. Интенсивность накопления металлов в почвах при этом заметно возрастает от южной окраины города к центральной и северной зонам (рис. 8).

Таблица 23. Структура загрязнения территории (почв) Саранска химическими элементами (в % от общей площади города) [3] *

Элемент	Коэффициенты концентрации элементов относительно фона в почвах					
	< 1,5	1,5-3	3-10	10-30	30-100	> 100
Медь	92,8	6,6	0,5	0,1	-	-
Цинк	52,5	43,3	3,9	0,2	0,1	-
Никель	81,9	17,1	1,0	-	-	-
Стронций	83,0	13,8	2,8	0,4	-	-
Молибден	88,6	9,8	1,5	0,3	-	-
Олово	56,2	42,4	1,4	-	-	-
Свинец	23,6	29,9	41,9	4,2	0,4	-
Ртуть	82,0	9,2	6,9	1,5	0,3	0,1

* При подсчетах площадей с разной интенсивностью загрязнения не учитывались данные по промзонам города (за исключением заводов СЭЛЗ и СИС-ЭВС). В реальности площади с высокими концентрациями химических элементов будут более значительными.

Максимальные уровни ртути, в отдельных точках превышающие существующую ПДК (т. е. 2,1 мг/кг), обнаружены в пределах промзон завода СЭЛЗ и (в меньшей степени) завода СИС-ЭВС (табл. 24).

Таблица 24. Ассоциации элементов в почвах промзон электроламповых заводов [30]

Завод	K_c элементов относительно фона в почвах					Z_c^*
	> 100	100-30	30-10	10-3	< 3	
СЭЛЗ	Hg	Sb- Ag-Pb	Mo-Cd- Tl-W-Zn	Cu-Ba-Ge-F- Sn	Cr-Co-V-Ni- Bi-As-Be-	664
СИС-ЭВС	-	Pb	Hg	Mo-W-Cu-F- V-Zn-Sb	Cd-Ge-Cr-Li- Ag-Bi-As-Sn-B	108

* Суммарный показатель загрязнения.

Характерной особенностью распределения ртути в верхнем слое почвогрунтов в пределах промзон указанных заводов является чрезвычайно высокая пространственная вариабельность ее содержаний, что находит отражение в экстремальных значениях коэффициентов осцилляции (коэффициентов вариации по вариационному размаху) (табл. 25). Отмеченная вариабельность распределения ртути может быть обусловлена дискретностью ее поставки с выбросами и твердыми отходами,

наличием в пределах промзон различных по мощности локальных ее источников, неоднородностями ветрового поля и др.

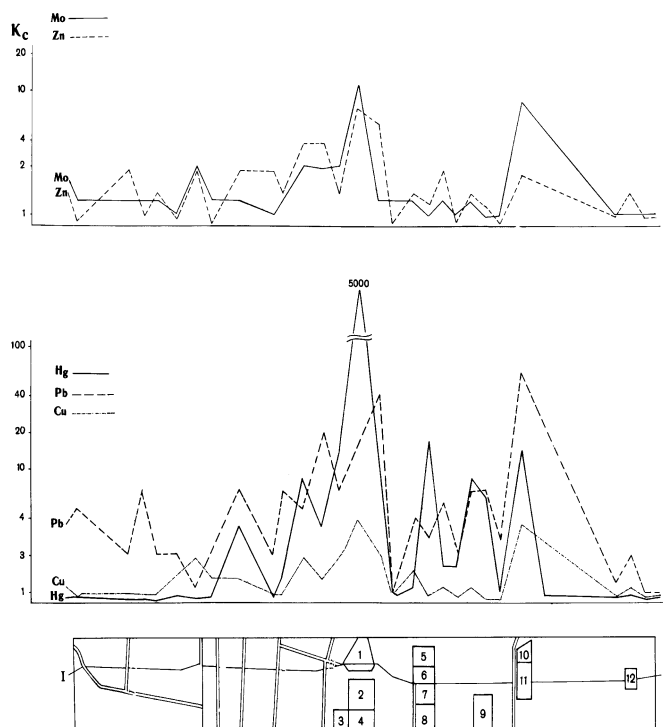


Рис. 8. Распределение значений коэффициентов концентрации (K_c) тяжелых металлов в верхнем слое почв г. Саранска [30].

Цифрами на схеме показано расположение промзон заводов: 1 – СЭЛЗ, 2 – Биохимик, 3 – Электровыпрямитель, 4 – приборостроительного, 5 – автопромоборудования, 6 – автосамосвалов, 7 – кабельного, 8 – инструментального, 9 – крупнопанельного домостроения, 10 – ВНИИИС, 11 – СИС-ЭВС, 12 – телевизионного; I-I – линия профиля

Таблица 25. Ртуть в почвах территорий СЭЛЗ и СИС-ЭВС, мг/кг [26] *

СЭЛЗ			СИС-ЭВС		
Среднее	Пределы	Коэффициент осцилляции	Среднее	Пределы	Коэффициент осцилляции
28,3	0,08-300	1059	0,84	0,015-5	593

* Верхний (0-10 см слой); фоновое содержание ртути в почвах составляет 0,06 мг/кг.

Показательно, что если на большей части территории г. Саранска загрязнение почв ртутью фиксируется преимущественно в верхнем их слое (до 5-10 см), то в пределах промплощадок заводов СЭЛЗ и СИС-ЭВС повышенные концентрации ртути прослеживаются соответственно до глубины 40-80 см и 20-40 см (рис. 9, 10). Есть сведения, что повышенные концентрации ртути в промзоне СЭЛЗ обнаруживаются на глубине 10 м [5, 41].

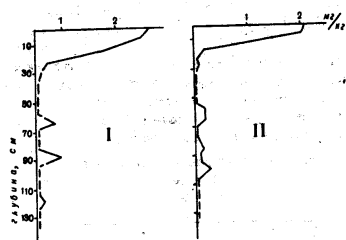


Рис. 9. Распределение ртути в профиле почв промзоны завода СЭЛЗ [23].

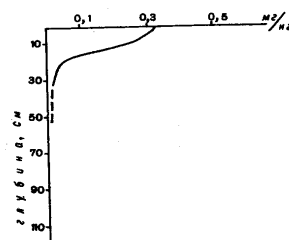


Рис. 10. Распределение ртути в профиле почв промзоны завода СИС-ЭВС [23].

В городской растительности (листья, ветви и кора березы) значимые концентрации ртути (на уровне 0,05-0,06 мг/кг сухой массы) обнаруживались (в отдельных пробах) только в пределах промзоны завода СЭЛЗ [3, 23]. Во всех остальных районах г. Саранска они были ниже предела обнаружения.

Имеющиеся ретроспективные данные наблюдений гидрометеорологической и санитарной служб г. Саранска свидетельствуют о том, что в 1960-1970-е гг. в санитарно-защитной зоне электролампового завода (СЭЛЗ) в приземном слое атмосферного воздуха отмечались концентрации ртути, стабильно превышающие уровень ПДК (для воздуха населенных пунктов). Совершенствование технологических процессов и внедрение систем очистки выбросов в конце 1980-х – начале 1990-х гг. способствовали снижению эмиссии поллютанта в городскую среду. Так, например, результаты газо-ртутных исследований (1990 г.) установили локальный характер загрязнения городской среды парами ртути (табл. 26). Значимые ее концентрации, достигающие и превышающие ПДК, фиксировались лишь в санитарно-защитной зоне завода СЭЛЗ, а также в районе ТЭЦ-2, где они превышали фон. Летом уровни паров ртути в приземном слое атмосферного воздуха закономерно были выше, чем осенью.

Тем не менее, поскольку ртуть продолжает использоваться в производстве разрядных ламп, то в помещениях электроламповых заводов по-прежнему фиксируются высокие концентрации ее паров, которые постоянно превышают гигиенический норматив. Например, в 1994 г., несмотря на снижение объемов производства люминесцентных ламп ОАО «Лисма», в воздухе цеха их сборки отмечались превышения ПДК ртути в 1-6 раз, в воздухе цеха по производству газоразрядных источников света высокого давления в 1,5-2 раза [20]. Повышенные концентрации паров ртути наблюдались также в воздухе других производственных и служебных помещениях электроламповых заводов.

Таблица 26. Ртуть в приземном слое атмосферного воздуха, нг/м³

Район города Саранска	Лето	Осень
СИС-ЭВС	<50-70	<50
СЭЛЗ	250-350	70-80
Теплоэлектроцентраль	150-250	100-200
Центр города	<50-80	<50-60
Жилые микрорайоны	<50-70	<50
Местный фон	<50	<50
ПДК	300	

Показательно распределение химических элементов в наружных стальных покрытиях заводских цехов (табл. 27). Естественно, что определенная часть элементов (например, свинец, цинк, олово, кадмий, медь) может быть связана с естественным нахождением их в составе материала покрытий (краска, побелка, штукатурка и пр.). Тем не менее обращает на себя внимание присутствие в материале стальных покрытий такого летучего металла, как ртуть, которая может сорбироваться строительными материалами из атмосферного воздуха. По данным [22], в 1980-х гг. в штукатурке наружных стен строений на территории завода СЭЛЗ, содержания ртути достигали 20-30 мг/кг, в снеговой воде они составляли 20-50 мкг/л (при фоне в природных водах в 0,05 мкг/л).

Таблица 27. Ассоциации химических элементов в стальных покрытиях [30]

Завод	K _c относительно фона в почвах				
	> 100	30-100	10-30	3-10	1.5-3
СИС-ЭВС	Zn	Cr-Pb-Mo	Cd-W-Bi-Ni	Hg-Ag-Sb	Cu-V-B-As
ВНИИИС	Sn	Cu-Cd-W	Pb-Sb-Bi	Hg-Mo-Ag	As-B-Cr

Уровни содержания ртути в воде Инсара и его притоков, принимающих промышленные стоки различных предприятий, не превышали существующую ПДК ее растворенных форм ($=0,5$ мкг/л), хотя и были – в ближней к городу зоне – выше природного фона (концентрации растворенных форм достигали значений в $0,07-0,3$ мкг/л, взвешенных форм – в $0,25-0,41$ мкг/л) [3]. Основное загрязнение водотоков ртутью обусловлено поступлением этого элемента со сточными водами в составе взвешенного материала (во взвешенных формах). Особенно контрастно техногенные аномалии ртути проявились в техногенных илах, отражающих многолетнее воздействие источников загрязнения на водные системы, а также в эпифитовзвеси (т. е. во взвеси, осаждаемой на макрофитах – высших водных растениях), фиксирующей современный (сезонный) уровень загрязнения водной системы (табл. 28).

Таблица 28. Ртуть в различных компонентах речной среды [31, 37]

Место отбора проб	Эпифитовзвесь		Макрофиты		Техногенные илы		Вода, взвешенные формы		Вода, растворенные формы	
	мг/кг	K_C	мг/кг	K_C	мг/кг	K_C	мкг/л	K_C	мкг/л	K_C
I	15	500	0,3	6	4,8	240	0,41	5	0,10	2
II	5	170	0,2	4	0,9	45	0,25	3	0,06	1,2
III	1	33	0,1	2	0,05	2,5	0,08	1	0,05	1
IV	0,15	5	0,05	1	0,03	1,5	0,08	1	0,05	1
V	0,03	1	0,05	1	0,02	1	0,08	1	0,05	1

Примечание. K_C – коэффициент концентрации относительно фонового уровня; содержания ртути в эпифитовзвеси, илах и макрофитах даны на сухую массу; место отбора проб: I – устье руч. Никитинского, дренирующего центральную промышленную зону города Саранска, II – р. Инсар, 1 км ниже руч. Никитинского, III – р. Инсар, 50 км ниже руч. Никитинского, IV – р. Алатырь, 160 км ниже руч. Никитинского, V – местный фон.

В техногенных илах, активно развитых в русле р. Инсар, особенно в пределах и ниже г. Саранска, наиболее высокие концентрации ртути фиксируются в ближней к городу зоне техногенного воздействия (на участке реки до 10 км ниже сброса стоков с общегородских очистных сооружений); вниз по течению они варьируются в пределах $3-9 K_C$ (рис. 11) [34].

Изучение распределения ртути в волосах детей (обследовано 650 детей – школьников и дошкольников), проживающих в различных районах г. Саранска, показало, что более чем у 50% из них концентрации этого металла были меньше $0,1$ мкг/г (фон составляет $0,26$ мкг/г; критический уровень – не более 2 мкг/г).

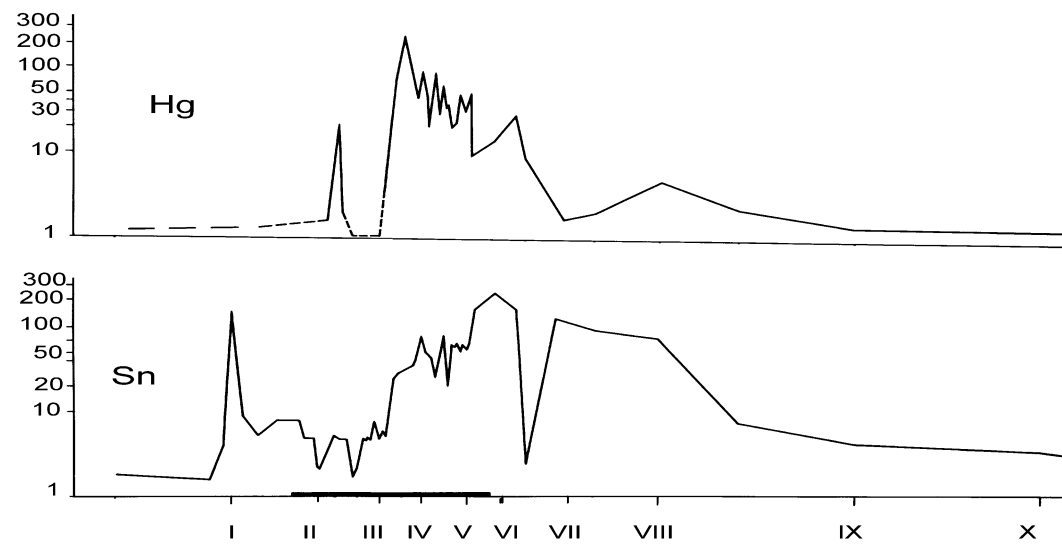


Рис. 11. Распределение ртути и олова (в K_C относительно фона) в техногенных илах р. Инсар в зоне влияния г. Саранска (I-X – основные участки отбора проб: I – ниже р. Лепелейки (сброс стоков южной промзоны), II – центр г. Саранска, III – ниже руч. Никитинского (сброс стоков центральной промзоны), IV – выше городских очистных сооружений (ГОС), V - 0,2 км ниже ГОС, VI – 5 км ниже ГОС, VII – 11 км ниже ГОС, VIII – 19 км, IX – 30 км ниже ГОС, X – 43 км ниже ГОС)/ [34].

Содержания ртути в 1,5 раза выше фона ($> 0,4$ мкг/г) отмечены только у 13% общего числа обследованных детей; в 3 раза выше фона ($> 0,78$ мкг/г) – у 7% детей. Очевидно, что такая ситуация достаточно типична для промышленного города, каковым является Саранск. Четкой связи между интенсивностью концентрирования ртути в волосах детей и пространственной (функциональной) структурой города не выявлено. Отмечается лишь слабая тенденция к более частому появлению повышенных концентраций ртути у школьников и дошкольников в районе «Светотехника», тяготеющему к промзоне завода СИС-ЭВС, в центре города, испытывающему влияние завода СЭЛЗ, у дошкольников, проживающих в микрорайоне «Северный» (зона влияния ТЭЦ-2), а также у школьников района «Октябрьский». Это, однако, может быть связано не только с близостью в отдельных случаях к основным источникам поступления в городскую среду (электроламповые заводы и др.), но и с социально-бытовыми факторами.

В частности, у детей (возраст которых составлял 5-7 лет) работников электроламповых заводов (СЭЛЗ и СИС-ЭВС) чаще обнаруживались более высокие уровни ртути в волосах, нежели у детей, родители которых работали на других предприятия (табл. 29). Данный факт может быть объяснен постоянным поступлением ртути в жилые помещения на одежде и обуви родителей, являющихся работниками электроламповых заводов [24, 25].

Таблица 29. Ртуть в волосах детей, мкг/г [24, 25]

Место работы родителей, заводы	Содержание ртути (пределы колебаний)
СЭЛЗ, СИС-ЭВС	0,1 – 1,6
Электровыпрямитель	$< 0,1$ – 0,5
Механический, инструментальный	$< 0,1$ – 0,4
Саранскабель	0,1 – 0,2
Центролит	$< 0,1$ – 0,1

Сопряженное изучение интенсивности концентрирования ртути в моче и волосах детей, посещающих детские дошкольные учреждения г. Саранска, также не выявило каких-либо критических ситуаций (табл. 30). Как в моче, так и в волосах не отмечено превышения ртутью физиологических уровней. В то же время у некоторых детей (составляющих около 2% от общей выборки) в моче были обнаружены концентрации ртути, приближающиеся к физиологическому уровню, что, очевидно, может быть связано не только с влиянием факторов окружающей среды, но и с социально-бытовыми условиями. Необходимо отметить, что по данным на середину 1980-х гг. в моче детей, проживавших в

пределах санитарно-защитной зоны Саранского электролампового завода, уровни содержания ртути достигали 40 мкг/л [22].

Таблица 30. Средние (пределы) содержания ртути в биосубстратах детей г. Саранска [3]

Район города	Моча, мкг/л	Волосы, мкг/г
Зона влияния завода СЭЛЗ	1,57 (0,5-4,4)	0,18 (0,05-0,50)
Центр города	1,17 (0,5-3,2)	0,22 (0,05-0,60)
Микрорайон «Светотехника»	1,59 (0,5-4,0)	0,20 (0,05-0,35)
Микрорайон «Северный»	1,23 (0,5-3,6)	0,19 (0,05-0,33)
Микрорайон «Заречный»	1,66 (0,5-3,8)	0,27 (0,05-0,77)
Микрорайон «Октябрьский»	1,47 (0,5-4,0)	0,28 (0,05-0,60)
Фоновый уровень	до 5,0	0,26
Физиологический уровень	5-10	до 2

В 1990 г. медицинской и санитарно-эпидемиологической службами г. Саранска были выполнены исследования состояния здоровья и изучена клиническая картина течения беременности у женщин, которые проживали в санитарно-защитной зоне завода СЭЛЗ (опытная группа), и у женщин контрольной (фоновой) группы [3]. Установлено, что во время беременности и при родах у женщин обеих групп фиксировались различные осложнения, однако у женщин опытной группы они проявлялись чаще (табл. 31).

Таблица 31. Частота осложнений (в %) при беременности и родах у женщин опытной (проживают в санитарно-защитной зоне завода СЭЛЗ) и контрольной групп, г. Саранск [3]

Характер осложнений	Контрольная группа	Опытная группа
Угроза прерывания беременности	8,8	10,6
Токсикоз поздний	2,2	4,1
Преждевременные роды	4,2	6,5
Нефропатия	6,9	5,3
Анемия	3,8	10,5
Слабость родовой деятельности	10,4	12,9
Продолжительность родов (в час.)	9,3	9,5

Дети, родившиеся у женщин, проживавших в санитарно-защитной зоне электролампового завода, отличались замедленным развитием (табл. 32).

Таблица 32. Состояние детей, родившихся у женщин опытной (проживают в санитарно-защитной зоне завода СЭЛЗ) и контрольной (фоновой) групп, г. Саранск [3]

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Доля детей (%), имеющих индекс Ангар < 9	12,2	19,5
Количество двойняшек на 100 родившихся	0,4	1,2
Гипотрофия плода (%)	14,4	23,2
Гипертрофия плода (%)	8,4	10,1
Вес (г): мальчики	3423	3361
Вес (г): девочки	3333	3302
Рост (см): мальчики	50,9	50,7
Рост (см): девочки	50,6	50,4

Рассмотренные данные свидетельствуют о негативном (главным образом локальном) воздействии производства ртутных ламп на окружающую среду и на жителей Саранска (особенно на тех, которые проживают в центральных районах города).

Сравнительный анализ данных по заболеваемости населения, проживающего в Центральном («грязном») и Октябрьском («условно-чистом») районах города (на основе трехгодичного, в 1989-1991 гг., систематического сбора и обработки информации о состоянии здоровья 49 тыс. человек, в том числе 16 тыс. детей), показал, что заболеваемость как среди детей, так и среди взрослого населения выше в Центральном районе города по следующим нозологическим группам болезней: болезни системы пищеварения в 2 раза, общая заболеваемость по изученным группам болезней в 1,1 раза [3]. Кроме того, заболеваемость среди детей центральной части города выше по болезням крови в 9 раз, болезням мочевыделительной системы в 3,1 раза, болезням органов дыхания в 1,2 раза, болезням глаз в 1,1 раза. Среди взрослых, проживающих в центре города, отмечалась более высокая заболеваемость ишемической болезнью (в 1,7 раза) и болезнями эндокринной системы (в 1,4 раза). Центральные районы Саранска отличаются более высокой (в несколько раз по сравнению с другими районами города) распространенностью среди детей таких специфических заболеваний, как пиелонефрит и цистит [3, 23].

Таким образом, приводимые данные свидетельствуют о более высоком уровне заболеваемости населения Саранска, проживающего в центральном районе города и потенциально испытывающего воздействие Саранского электролампового завода (СЭЛЗ). Естественно, что свя-

зывать данный факт только с влиянием ртути, поступающей в среду обитания в результате деятельности электролампового завода, вряд ли правомочно. Центральная часть Саранска характеризуется достаточно интенсивным загрязнением широкой группой химических элементов и их соединений [3, 9, 23, 28, 30, 38]. Для города Саранска, с рассматриваемой точки зрения, особое значение, прежде всего, имеют повышенные концентрации фтора в питьевых водах, специфическое воздействие на горожан выбросов завода медпрепаратов (производство антибиотиков и др.), наличие почв с интенсивным (в основном остаточным) загрязнением свинцом, повышенные содержания в городской среде кадмия и ряда других тяжелых металлов, бенз-а-пирена и некоторых других вредных веществ. К тому же, как хорошо известно, в условиях промышленного города человек подвергается воздействию многих средовых, социальных и биологических факторов, которые определяют состояние его здоровья. Тем не менее вероятность негативного влияния повышенной ртутной нагрузки на городскую среду и горожан следует, безусловно, учитывать.

В любом случае, совершенно очевидно, что во всех городах России (прежде всего, в Саранске и Смоленске), где расположены заводы (производства) по изготовлению различных ртутных ламп, необходимо проведение детальных эколого-геохимических и медико-гигиенических исследований по установлению масштабов ртутного загрязнения городской среды и изучению вероятности его воздействия на состояние здоровья горожан. Результаты этих исследований должны послужить основой для обоснования и проведения различных деконтаминационных и демеркуризационных мероприятий.

Заключение

В 2000-2002 гг. общее потребление металлической ртути отечественной электроламповой промышленностью составляло 7,5 т, большая часть которой (до 87%) использовалась в производстве люминесцентных ламп низкого давления. Объемы производства указанных ламп (в 2000-2002 гг.) достигали не менее 69-71 млн. шт./год, ламп высокого и сверхвысокого давления – 6,5-7 млн. шт./год. Основными производителями ртутных ламп являлись ОАО «Лисма» (г. Саранск, Республика Мордовия) и ОАО «Свет» (г. Смоленск).

Отечественные ламповые заводы оснащены устаревшими полуавтоматизированными линиями сборки люминесцентных ламп, априори предопределяющих – в отличие от современных зарубежных технологий – практически постоянный прямой контакт многих работников электроламповых заводов с металлической (открытой) ртутью. Технологический процесс производства люминесцентных ламп включает большой удельный вес ручного труда, характеризуется значительными потерями ртути, особенно на линиях сборки, и отличается наличием неблагоприятных производственных факторов (высокие концентрации паров ртути, других химических элементов и некоторых органических соединений в воздухе рабочей зоны, повышенная температура воздуха, повышенный шум, вибрация, инфракрасное и электромагнитное излучение).

Основу большинства линий сборки люминесцентных ламп, эксплуатируемых на отечественных электроламповых заводах, составляет оборудование, характеризующееся практически 100%-ным сроком амортизации, что в значительной степени и предопределяет очень значительный производственный брак и высокие технологические потери ртути. В процессе вакуумной обработки ламп в подавляющее их количество вводят жидкую металлическую ртуть; попытки внедрить в производство использование геттеро-ртутных дозаторов на российских предприятиях не увенчались успехом. На Смоленском электроламповом заводе средняя доза вводимой в каждую люминесцентную лампу металлической ртути (без учета ее технологических потерь) в 2001 гг. достигала 52,6 мг, на Саранском электроламповом заводе – 66 мг, что значительно превышает аналогичные показатели, характерные для современных зарубежных технологий. Как правило, количество металлической ртути, теряемой в ходе сборки ламп на отечественных предприятиях, составляет от 30 до 40% от общей массы потребляемого в производстве металла.

Расчеты показывают, что в 2001 г. технологические потери ртути, используемой в производстве ртутных ламп, составили более 2,7 т, или

около 37% от общего объема ее потребления отечественными электроламповыми заводами, при этом более 1 т ртути утеряно безвозвратно (выбросы в атмосферу, потери в канализацию, захоронение твердых отходов на свалках) и в том или ином виде рассеялось в окружающей среде. Очень велики общие удельные потери ртути, которые на Смоленском заводе в 2001 г. составили более 23 г металла на одну кондиционную лампу, на Саранском заводе – около 46 г. Если, например, в США эмиссия ртути в атмосферу при производстве люминесцентных ламп составляет не более 4 кг на одну тонну использованного в технологическом процессе металла, то аналогичный показатель в российской электроламповой промышленности (в 2000-2002 гг.) в среднем достигал почти 21 кг.

В 2001 г. общий баланс распределения безвозвратных потерь ртути в отечественной электроламповой промышленности выглядел следующим образом: около 156 кг (более 15%) поступило в атмосферу (главным образом в виде парогазовой фракции), около 300 кг (~ 30%) ушло в канализацию (преимущественно в виде мелкодисперсной металлической ртути), более 550 кг (около 55%) – вывезено на свалки (в основном в составе ртутной ступпы, а также стеклобоя и других твердых отходов). Твердые отходы отечественных электроламповых заводов, вывозимые на свалки, размещаются (по крайней мере, так декларируется предприятиями) в так называемых бункерах временного хранения, что в определенной мере сдерживает поступление металла в окружающую среду. Ртуть, поступающая с выбросами в атмосферу и сбросами в канализацию, в конечном счете активно включается в природные циклы геохимической миграции и участвует в формировании зон техногенного загрязнения.

Воздух производственных и подсобных помещений электроламповых заводов, особенно в цехах сборки люминесцентных и других ртутных ламп, отличается высокими концентрациями паров металлической ртути, которые стабильно (и многократно) превышают гигиенические нормативы (среднесменную и максимальную предельно допустимые концентрации). Заводы по производству ртутных ламп характеризуются наличием вторичных источников поступления ртути в воздух (строительные конструкции и технологическое оборудование, депонирующие металл), которые в условиях повышенных температур, свойственных данному производству, постоянно эмитируют ртуть в окружающее пространство. Интенсивное загрязнение заводских помещений ртутью и неблагоприятные условия труда негативно воздействуют на работников электроламповых заводов и обуславливают развитие у них профессиональных заболеваний (прежде всего, хронической ртутной интоксикации) и других функциональных расстройств организма. Дети,

родившиеся у работниц электроламповых заводов, отличаются замедленным развитием.

В большинстве случаев в окрестностях заводов по производству ртутных ламп формируются локальные, но достаточно интенсивные зоны техногенного загрязнения (особенно в пределах промплощадок и санитарно-защитных зон), которые характеризуются повышенными, высокими и даже очень высокими уровнями ртути в различных компонентах окружающей среды (атмосферный воздух, почвы, снег, растительность, природные воды, донные отложения водотоков), нередко превышающими существующие гигиенические нормативы. Имеющиеся данные свидетельствуют о потенциальном влиянии ртутного загрязнения на городских жителей, проживающих в непосредственной близости от электроламповых заводов. Специфическим источником поступления ртути в жилые помещения является ее перенос работниками электроламповых заводов на одежде и обуви.

Практически все российские предприятия по производству ртутных ламп нуждаются в коренной модернизации технологического процесса, систем очистки выбросов и стоков, утилизации твердых отходов. В сущности, требуется полная автоматизация линий сборки ртутных ламп с целью исключения как прямого контакта работников с открытой ртутью, так и их постоянного нахождения в ртутной атмосфере. Особое внимание должно уделяться снижению количества ртути, вводимой в одну лампу, и доведению этого показателя до его соответствия мировым стандартам, что позволит резко сократить потери ртути и, соответственно, значительно снизить техногенную нагрузку на среду обитания и человека.

В отечественной электроламповой промышленности необходима организация максимально полного рециклинга используемой в производстве ртутных ламп металлической ртути, что, в свою очередь, определяет необходимость создания строгой статистической отчетности о потреблении (балансе потребления) металлической ртути и ее распределении в ходе технологических процессов, об образующихся ртутьсодержащих отходах и их переработке (утилизации). Следует нормативно запретить вывоз (даже на временное захоронение) на свалки ртутной ступпы – промпродукта, образующегося при переработке бракованных изделий. Ртутная ступпа в обязательном порядке (с соответствующей отчетностью) должна направляться на дальнейшее обезвреживание, например, в ЗАО «НПП «Кубаньцветмет», металлургический завод которого, в сущности, является в настоящее время единственным в России предприятием, способным в промышленных масштабах эффективно переработать ступпу с получением вторичной (товарной) ртути, которая может возвращаться в производство.

Очевидно, что на всех электроламповых заводах России, производящих ртутные лампы, необходимо проведение обязательного и полномасштабного экологического аудита и вневедомственной экспертизы используемых технологий, систем очистки выбросов и стоков, утилизации образующихся отходов, а в окрестностях заводов – комплекса эколого-геохимических и медико-гигиенических исследований с целью выявления уровня и масштабов загрязнения окружающей среды ртутью и другими поллютантами и их влияния на здоровье населения. Результаты таких исследований должны послужить основой для разработки плана необходимых демеркуризационных мероприятий как в пределах промышленных зон, так и в зонах влияния предприятий.

Люминесцентные и другие ртутные лампы обеспечивают в нашей стране подавляющую часть световой энергии, генерируемой искусственными источниками света. В то же время потенциальный рынок ламп в России заполнен сейчас в лучшем случае наполовину, причем наиболее активно осваивают его различные иностранные компании, поставляя изделия ведущих (и не только) светотехнических фирм мира. Именно поэтому все отмеченные выше мероприятия в конечном счете будут иметь не только эколого-гигиенический, но и социально-экономический эффект, поскольку позволят отечественным предприятиям производить продукцию, способную составить – со всех точек зрения – конкуренцию зарубежным люминесцентным и другим ртутным лампам.

Литература

1. База данных «Участники светотехнического рынка». Вып. 1. – М.: Дом Света, 2001. – 152 с.
2. *Болохонцева Р.В., Кошлек Т.И., Савельева Л.Ф. и др.* Санитарно-гигиеническая характеристика условий труда на ОАО «Свет» // Мат-лы науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия и охраны здоровья населения центрального региона России», посвященной 80-летию Государственной санитарно-эпидемиологической Службы России (Смоленск, 26-29 ноября 2002 г.). – Смоленск: СГМА, 2002, с. 234-236.
3. *Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижанкин С.А. и др.* Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. – М.: ИМГРЭ, 1993. – 115 с.
- 3а. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 101. Метилртуть: Пер. с англ. – Женева-Москва: ВОЗ-Медицина, 1993. – 125 с.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Мордовия в 2001 году. – Саранск: Комитет природных ресурсов по Республике Мордовия, 2002. – 264 с.
5. *Воронина О.* Ртуть – вон из Саранска! // Столица С, № 602, 3 мая 2004 г.
6. *Добрянский Л.А., Артеменко В.М., Морозов В.И.* Ртуть в окружающей среде некоторых городов Украины. – Киев: ИГН АНУ, 1992. – 44 с.
7. *Дроботун В.С., Рязанова Л.А.* Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды химическими элементами г. Смоленска. – М., 1991. – 128 с.
8. Источники света. Каталог светотехнических изделий. – М.: Московский «Дом Света», 2003. – 124 с.
9. *Кашина Л.И., Янин Е.П.* Природно-техногенная гиперфторовая биогеохимическая провинция в центральных районах Мордовии (формирование, геохимические особенности, экологические последствия) // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. – М.: Наука, 2003, с. 157-173.
10. *Кожушко Г.М., Корягин О.Г.* Пути решения проблемы ртути в источниках света на Украине // Ртутная опасность – проблема XX века. – СПб., 1994, с. 83-86.
- 10а. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Вып. 1. Ртуть: Пер. с англ. – Женева-Москва: ВОЗ-Медицина, 1979. – 149 с.
11. *Петров В.И.* Азбука освещения. – М.: ВИГМА, 1999. – 84 с.
12. Проблемы современного светотехнического рынка России // Светотехника, 2002, № 2, с. 28-31.
13. Проект нормативов предельно допустимых выбросов для промплощадки № 1 («Лисма-СЭЛЗ»). – Саранск: ВНИИИС-Лисма, 2000. – 295 с.
14. Проект 1 очереди расширения Саранского завода специальных источников света и электровакуумного стекла – АО «Лисма СИС и ЭВС» со строительством корпуса люминесцентных ламп и стекольного корпуса № 1. Корректировка проекта с выделением пускового комплекса. Раздел 6. Технические условия и документы согласований. – М.: ГИПРОНИИЭЛЕКТРО, 1993.

15. Результаты биогеохимических работ в городах Армянской ССР. – М., 1985. – 170 с.
16. *Рохлин Г.Г.* Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
- 16а. *Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
17. Сводный отчет об охране атмосферного воздуха за 2001 год. – М.: Госкомстат России, 2002.
18. *Смирнова Р.С., Изумнов Н.Я., Павлова Л.П. и др.* Комплексное геохимическое и биогеохимическое изучение очагов загрязнения окружающей среды. – М., 1982. – 167 с.
19. *Соколов Л.С., Горшенина С.В., Соколова Т.И., Тарфеев В.Н.* Ртуть в приземной атмосфере Москвы и некоторых других районов Советского Союза. – М., 1986. – 143 с.
20. Состояние здоровья населения и среды обитания города Саранска Республики Мордовия. – Саранск, 1996. – 89 с.
21. Справочная книга по светотехнике. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
22. *Степанов Н.А.* Гигиеническое исследование опасности для здоровья человека в связи загрязнением заводской и окружающей среды ртутью от производства люминесцентных ламп: Диссертация, представленная на соискание ученой степени канд. мед. наук. – СПб.: С.-Петербургская Академия последипломного образования, 1997. – 134 с.
23. *Янин Е.П.* Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
24. *Янин Е.П.* Специфический источник поступления загрязняющих веществ в жилые помещения // Медицина труда и промышленная экология, 1995, № 10, с. 39-40.
25. *Янин Е.П.* Специфический источник поступления ртути в жилые помещения // Ртуть. Комплексная система безопасности. – СПб., 1996, с. 45-48.
26. *Янин Е.П.* Эколого-геохимические аспекты производства и использования люминесцентных ламп // Ртуть. Комплексная система безопасности. Материалы научно-практической конференции. – СПб., 1996, с. 61-73.
27. *Янин Е.П.* Геохимические особенности осадков сточных вод промышленного города (на примере Саранска). – М.: ИМГРЭ, 1996. – 41 с.
28. *Янин Е.П.* Фтор в питьевых водах города Саранска и его гигиеническое значение. – М.: ИМГРЭ, 1996. – 58 с.
29. *Янин Е.П.* Экологические аспекты производства и использования ртутных ламп. – М.: Диалог-МГУ, 1997. – 41 с.
30. *Янин Е.П.* Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.
31. *Янин Е.П.* Эпифитовзвесь – индикатор загрязнения речных систем тяжелыми металлами // Водные ресурсы, 1999, т. 26, № 6, с. 731-734.
32. *Янин Е.П.* Ртуть в осадках городских сточных вод // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 143-152.
33. *Янин Е.П.* Химические элементы в пылевых выбросах электротехнических предприятий // Медицина труда и промышленная экология, 2000, № 8, с. 24-27.

34. Янин Е.П. Техногенные илы в зоне влияния промышленного города (формирование, состав, геохимические особенности). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 100 с.
35. Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий // Экологическая экспертиза, 2002, вып. 4, с. 10-29.
36. Янин Е.П. Распределение ртути в пылевых выбросах и почвах промплощадок предприятий Саранска // Медицина труда и промышленная экология, 2002, № 9, с. 44-47.
37. Янин Е.П. Эпифитовзвесь – новый индикатор загрязнения речных систем тяжелыми металлами. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 51 с.
38. Янин Е.П. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2003. – 82 с.
39. De Rosis F., Anastasio S.P., Selvaggi L. et al. Female reproductive health in two lamp factories: effects of exposure to inorganic mercury vapour and stress factors // Brit. J. Ind. Med., 1985, 42, № 7, p. 488-494.
40. Global Mercury Assessment. – UNEP Chemicals: Geneva, 2002.
41. <http://ria.stolica-s.com/index.phtml?id=1&sid=15&art=5307>.
42. <http://www.iamik.ru>.
43. Locating and Estimating Air Emissions From Sources of Mercury and Mercury Compounds. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-454/R-97-012, 1997.
44. Risk to Health and the Environment Related to the Use of Mercury Products. Final Report, prepared for The European Commission, DG Enterprise by Risk & Policy Analysts Limited, London, 2002. – 119 p.
45. Substances Flow Analysis of Mercury on Products. Prepared for Minnesota Pollution Control Agency. – Barr Engineering Company: Minneapolis, 2001.
46. The Materials flow of mercury in the Economics of the United States and the World / J.L. Sznopce, T.G. Goonan. – U.S. Geological Survey Circular 1197 // <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/circulars/c1197>.
47. Verberk M.M., Salle H.J.A. Kemper C.H. Tremor in workers with low exposure to metallic mercury // Amer. Ind. Hyg. Assoc. J., 1986, 47, № 9, p. 559-562.

Содержание

Введение.....	3
Производство ртутных ламп и потребление ртути электроламповой промышленностью.....	5
Технологические процессы и основные источники эмиссии ртути.....	10
Потери ртути при производстве ламп.....	17
Профессиональное воздействие ртути.....	28
Ртуть в окружающей среде в районе электроламповых заводов.....	33
Заключение.....	52
Литература.....	56

В.В. Бессонов, Е.П. Янин

Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве газоразрядных ламп в России

Подписано к печати 07.07.04.
Формат 60 x 90 1/16. Уч. изд. л. 3,8.
Тираж 200. Заказ
Полиграфическая база ИМГРЭ.