

Е.П. ЯНИН

**ОСАДКИ
ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД
КАК ИСТОЧНИК
ПОСТУПЛЕНИЯ РТУТИ
В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

МОСКВА - 2004

УДК 504.064.47

Янин Е.П. Осадки городских сточных вод как источник поступления ртути в окружающую среду. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 26 с.

При совместной очистке бытовых и промышленных стоков на городских очистных сооружениях образуются значительные массы осадков, которые содержат значительные количества различных загрязнителей, в том числе ртути, потенциально способных рассеиваться в окружающей среде при хранении, утилизации и практическом использовании данного вида отходов. В отечественной литературе сведения, оценивающие осадки сточных вод как потенциальный источник поступления ртути в окружающую среду, практически отсутствуют. В настоящей работе предпринята попытка восполнить данный пробел.

Табл. 10; список лит. – 54 назв.

Введение

В большинстве российских городов имеются общегородские очистные сооружения, на которых осуществляется, как правило, совместная очистка бытовых и промышленных сточных вод (доля последних может составлять от 25 до 50%). Обычно применяется двухступенчатая система очистки – механическая и биологическая. В ходе очистки образуются значительные массы в основном двух видов осадков сточных вод – сырого осадка первичных отстойников (первичные осадки) и избыточного активного ила (вторичные осадки). Они представляют собой илисто-коллоидную смесь минеральных и органических веществ, обладающую средней влажностью около 96,2% и специфическим химическим составом [31]. Образующиеся на городских очистных сооружениях первичные и вторичные осадки сточных вод смешиваются на насосных станциях и затем подвергаются совместной обработке.

В мировой практике наиболее распространенными способами обработки осадков сточных вод (ОСВ) являются анаэробное сбраживание, аэробная стабилизация и компостирование. Заключительной стадией обработки анаэробно сброженных или аэробно стабилизированных ОСВ является их обезвоживание, которое осуществляется механическим способом (применяются центрифуги, фильтр- и вакуум-прессы) или естественным подсушиванием на иловых площадках, состоящих из серии так называемых иловых карт. В нашей стране для обезвоживания ОСВ наиболее широко используется их размещение на иловых площадках (состоящих из серии так называемых иловых карт), которые обычно расположены на территории станций аэрации или вблизи комплекса городских очистных сооружений. В большинстве случаев ОСВ поступают (наливаются) на иловые площадки периодически, отдельными слоями мощностью, как правило, до 20-25 см. В некоторых случаях (в крупных городах страны) образующиеся на станциях очистки ОСВ после механического обезвоживания вывозятся автотранспортом на специальные полигоны для захоронения. Тем не менее даже при использовании механических методов обезвоживания осадков иловые площадки в соответствии с требованиями строительных норм и правил в ряде случаев проектируются в качестве аварийных сооружений, рассчитываемых на обработку двухмесячного объема осадка [31]. Очень редко ОСВ подвергаются компостированию или сжиганию на специальных установках.

Осадки сточных вод всех городов содержат значительные количества различных поллютантов, в том числе ртуть, потенциально способных рассеиваться в окружающей среде при хранении, утилизации и практическом использовании данного вида отходов. В отечественной литературе сведения, оценивающие ОСВ, образующиеся в российских

городах, как потенциальный источник поступления ртути в окружающую среду практически отсутствуют, что в существенной мере обусловлено слабой изученностью распределения этого токсичного металла в данном виде многотоннажных отходов. В настоящей работе предпринята попытка восполнить, хотя бы отчасти, этот пробел.

Уровни содержания ртути в ОСВ

Главной особенностью распределения ртути в ОСВ является очень высокая вариация ее концентраций. Так, согласно обобщению [12], в ОСВ промышленных городов мира концентрации ртути варьируются от 0,1 до 55 мг/кг. По данным A.L. Page (1974, цит. по [2]), уровни ртути в осадках коммунальных сточных вод по результатам анализа 300 проб колебались в пределах 0,1-50 мг/кг. В ОСВ крупных городов США содержания ртути, по данным на середину 1970-х гг., изменялись от 3 до 18 мг/кг (среднее 8,6 мг/кг) (Furr et al., 1976, цит. по [39]); в ОСВ городов Швеции (данные по 93 станциям очистки вод) ее уровень в среднем составлял 6 мг/кг (Berggren, Oden, 1972, цит. по [39]); в ОСВ городов ФРГ – 4,8 мг/кг, изменяясь от 0,1 до 55 мг/кг (Bassam, Thoman, 1980, цит. по [24]). В осадках сточных вод г. Гисен (ФРГ) средняя концентрация ртути оценивалась в 2,5 мг/кг [53], г. Мюнхена – в 6 мг/кг (Diez, Rosopulo, 1976, цит. по [11]).

В табл. 1 приведены сведения о среднем содержании ртути в ОСВ, образующихся на очистных сооружениях Москвы, Санкт-Петербурга, Саранска, Казани, Набережных Челнов и городов Московской области. Эти данные также свидетельствуют о высокой вариации средних концентраций ртути в ОСВ. Тем не менее обращают на себя внимание довольно близкие уровни содержания ртути в осадках, образующихся на очистных сооружениях двух крупнейших городов страны – Москвы и Санкт-Петербурга, что, очевидно, не случайно, поскольку является следствием общности источников поступления металла на очистные сооружения и схожим характером его поведения в ходе совместной очистки бытовых и промышленных сточных вод.

В общем случае интенсивность концентрирования ртути в ОСВ прямо зависит от специфики производств, расположенных в городах, от объемов и качества промышленных сточных вод, поступающих в городскую канализацию и затем на городские очистные сооружения [4, 25, 35, 36]. Можно выделить следующие факторы, определяющие интенсивность накопления в ОСВ ртути, – виды производств, поставляющих сточные воды на городские очистные сооружения, тип процесса, в ходе которого образуются сточные воды, наличие на предприятиях ло-

кальных очистных сооружений, качественные характеристики сточных вод, степень их обработки, конструкция установки, дающей ОСВ, режим эксплуатации очистных сооружений, условия хранения (обезвоживания и обеззараживания) осадков.

Таблица 1. Средние содержания ртути в ОСВ российских городов

Город (существование «ртутных» производств)	Hg, мг/кг сухой массы
Московская область [4]	
Клин (завод по производству ртутных термометров)	220
Коломна	10
Апрелевка	3,6
Загорск	2,8
Орехово-Зуево	2,4
Бронницы	0,8
Серпухов	0,4
Зарайск	0,4
Воскресенск	0,3
Домодедово	0,2
Павловский Посад	0,2
Подольск	0,2
Шатура	0,2
Электросталь	0,1
Белозерский	0,1
Истра	0,1
Наро-Фоминск	0,1
Раменское	0,03
Москва [4]	
Люберецкая станция аэрации	1,8
Курьяновская станция аэрации	1,3
Санкт-Петербург [18]	
Очистные сооружения города *	1,6
Республика Мордовия [35]	
Саранск (заводы по производству ртутных ламп)	4
Республика Татарстан [3]	
Казань	0,41
Набережные Челны	0,45

* Данные за 1997 г.; по сведениям за 1995 г. уровень ртути в ОСВ составлял 2,7 мг/кг [45].

При прочих равных условиях относительно небольшие по численности населения города при наличии в них предприятий, использующих в технологическом цикле ртуть, отличаются более интенсивным накоплением ее в ОСВ. Примером служат г. Клин, где расположен завод по производству ртутных термометров (см. табл. 1), и, отчасти, г. Саранск, где функционируют заводы по изготовлению люминесцентных и других видов ртутных ламп (табл. 2). Так, в шламах, образующихся на локальных очистных сооружениях электролампового завода, концентрация ртути в среднем составляла 300 мг/кг; уровни ее содержания в шламах других предприятий были намного ниже.

Таблица 2. Ртуть в шламах предприятий г. Саранска [36]

Завод, предприятие	мг/кг	K_c
Электроламповый (люминесцентные лампы)	300	5000
Полупроводниковых изделий	0,4	6,7
Строительно-транспортное	0,3	5
Центральная котельная	0,3	5
Хладокомбинат	0,3	5
Силовая электроника	0,2	3,3
Специальных источников света и электровакуумного стекла	0,1	1,7

Примечание: K_c рассчитывался относительно фонового уровня ртути в почвах, равного 0,06 мг/кг; концентрации даны на сухую массу шлама.

В крупных городах, где в балансе сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения, преобладающую долю составляет бытовая сток, ОСВ, как правило, закономерно характеризуются более низкими уровнями ртути (табл. 3).

Таблица 3. Ртуть в ОСВ городов шт. Айова, США (Tabatabai, Frankenberger, 1979; цит. по [39])

Города, население, чел.	Количество городов	Ртуть, мг/кг	
		Среднее	Пределы
740-1730	10	3,0	0,1-13,4
3470-9270	7	3,0	0,3-5,5
10280-22410	7	1,6	0,1-5,6
26220-46850	9	1,5	0,4-3,1
60350-201400	6	0,7	0,1-2,6

Тем не менее, как установил А.И. Ачкасов [4], ртуть является одним из ведущих элементов геохимических ассоциаций, свойственных,

например, ОСВ, образующихся на очистных сооружениях многих городов Московской области (табл. 4).

Таблица 4. Геохимические ассоциации в ОСВ городов Московской области [4]

Город	Ассоциация в ОСВ ($K_C > 3$; курсив – $K_C > 30$)
Клин	Hg -Ag-Bi-Pb-Zn-Sr-Sn-Sb-Cu-Cd-Cr-W-F-As-B-Mo
Коломна	Hg -Cd-Ag-Bi-Zn-Cr-Sr-W-Sn-Cu-Ni-Pb-Mo-F
Апрелевка	Hg -Ag-Bi-Ni-Cu-Cr-Zn-Sr-Cd-F-Sn-Pb-As
Загорск	Hg -Ag-Cu-Cd-Bi-Sn-Zn-Cr-Pb-W-Ni-Sr-As-La-Ge-Ce-F-Mo
Орехово-Зуево	Cd- Hg -Cu-Ag-Cr-Bi-Zn-Sn-Ni-Sr-Pb-F-Mo-Co
Москва, Люберцы	Ag- Hg -Cd-Bi-Mo-W-Cu-Cr-Sn-Pb-Sr-Zn-Ni-F
Москва, Курьяново	Hg -Ag-Cd-Bi-Zn-Mo-Cr-W-Cu-Ni-Pb-Sn-Sr-F
Бронницы	Ag-Bi- Hg -Cu-W-Mo-Cr-Pb-Sn
Серпухов	Cr-Ag-Cd-Zn-Bi- Hg -Cu-Ba-Sn-W-Ni-Sr-Pb-F-Mo
Зарайск	Cu-Ni-Ag-Cr- Hg -Cd-Bi-Zn-Sr-F-Pb-Sb-Mo-W-Sn
Воскресенск	Hg -Sr-Ag-Cu-Bi-Cd-Zn-F-Cr-Ni-Mo
Домодедово	Cd-Zn-Ag-Sn-Bi-Cu-Cr- Hg -W-Sr-Pb-In-Mo-F-Sb-Ni
Павловский Посад	Ag-Sn-Zn-Ni-Cu- Hg -Mo-W-Bi-Cr-Sr-Mn-Co-Pb-F
Подольск	Cd-Ag-Pb-Sn-Cu-In-Ni- Hg -Bi-Cr-Zn-W-Sb-Sr-Be-Mo
Шатура	Hg -Ag-Sr-Bi-Zn
Электросталь	Ag-W-Ni-Sr-Cd-Mo-Zn-Cr- Hg -Bi-Cu-Sn-Co
Белозерский	Ag-Bi-Be-Sr-Zn-W-Cd-Hg-Cu-Cr-Mo-Sb-F-Sn-Pb-Mn
Истра	Ag-Cd-Cu-Sn-Bi-Zn-Sr-Cr- Hg -Pb
Наро-Фоминск	Zn-Ag-Cu-Cd- Hg -Sr-Bi-Cr-Mo-Pb-Ni-Sn
Раменское	Cd-Ag-Cu-Sn-Zn-Cr-Bi-W-Ni-Sr-Pb-Mo- Hg -F

Примечание. K_C химических элементов рассчитывался относительно их фоновых уровней в почвах Московской области.

Данные, приводимые в табл. 1, позволяют рассчитать среднее содержание ртути в ОСВ, образующихся на очистных сооружениях российских городов. Так, если не учитывать крайние – максимальное и минимальное – значения, которые установлены для осадков сточных вод, образующихся на очистных сооружениях в городах Клин и Раменское, то средняя концентрация ртути в ОСВ составит 1,43 мг/кг (для дальнейших расчетов округлим до 1,4 мг/кг), что, кстати, довольно близко среднему содержанию ее в осадках сточных вод, образующихся в Москве и Санкт-Петербурге. Это, как отмечалось выше, не случайно, поскольку в этих городах проживает более 10% городского населения страны, а образующиеся ОСВ, очевидно, достаточно репрезентативны

по источникам формирования, условиям образования, вещественному составу и геохимическим особенностям.

Поведение ртути при очистке сточных вод и обезвоживании ОСВ

Особенности поведения ртути в процессах очистки городских сточных вод на очистных сооружениях, при обработке и хранении ОСВ изучены слабо. Установлено, что различные виды осадков, образующиеся на очистных станциях, характеризуются специфичным распределением ртути (табл. 5), что, прежде всего, проявляется в очень высокой вариации ее концентраций в анаэробном осадке. Это, очевидно, обусловлено как более неоднородным вещественным составом анаэробно сброженных осадков, так и более разнообразными – с физико-химической точки зрения – условиями их образования на конкретных очистных станциях.

Таблица 5. Ртуть в осадках коммунальных сточных вод (Sommers, 1977, цит. по [2])

Вид осадка	Число проб	Концентрация ртути, мг/кг сухой массы		
		Среднее	Медиана	Пределы
Анаэробный	35	1100	5	0,5-10600
Аэробный	20	7	5	1-22
Другие	23	810	3	2-5300
Все осадки в целом	78	733	5	0,5-10600

В частности, известно, что на практике используются различные способы (и, соответственно, разные устройства) сбраживания органического вещества (осадков), отличающиеся степенью и скоростью его распада, что предопределяет высокую вариабельность распределения ртути, в существенной мере связанной с органическим веществом, в образующемся осадке. Определенное значение может играть и сезонный фактор, поскольку состав сточных вод подвержен заметным сезонным колебаниям. Тем не менее, показательно, что медианные значения концентраций ртути, характерные для различных видов осадков, практически равны между собой. Это, отчасти, может свидетельствовать об определенной схожести поведения ртути при очистке сточных вод и ее заметном связывании с удаляемым из стоков органическим веществом. Ю.В. Алексеев [2] приводит данные зарубежных исследователей, которые указывают на то, что колебания концентраций многих других тяже-

лых металлов (Co, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd и др.) в анаэробном осадке также имеют большую, нежели другие виды осадков, амплитуду.

Т. Л. Тейс и Т.Д. Хайес [33], изучавшие поведение тяжелых металлов при анаэробном сбраживании осадков в метантенках, установили, что в истинно растворенном состоянии находится лишь незначительная их часть. В основном металлы фиксируются либо неорганической компонентой осадков, в том числе в виде сульфидов, либо поверхностью клеток бактерий, формируя органические комплексы. По мнению авторов цитируемой работы, не исключены также возможность переноса металлов внутрь клеток бактерий и их связь с внутриклеточным веществом бактерий, причем в данном случае связь «металл-клетка» является химически прочной, по крайней мере, в анаэробных условиях метантенка (в окислительных условиях, таким образом, возможен «выход» металлов в водную фазу). Авторы попытались отразить качественную картину химических взаимодействий тяжелых металлов в метантенке следующим образом (табл. 6). В первой колонке указанной таблицы для биологической (органической) фракции приведен ряд тяжелых металлов в порядке уменьшения их концентраций, во второй – относительная растворимость металлов, в третьей – их относительная токсичность. Сродство к биологической фракции основывается на значениях констант взаимодействия «клетка-металл». Под изменчивостью понимается склонность каждого металла к взаимодействию с биологической или неорганической фракцией. Авторы цитируемой работы установили, что в изученных ими условиях равновесное распределение металлов между неорганической компонентой осадка и биологической фракцией устанавливается достаточно быстро. При этом обращает на себя внимание разнообразное и не всегда предсказуемое поведение химических элементов.

Таблица 6. Относительные свойства тяжелых металлов в метантенке [33]

Концентрация в биологической фракции, рН=7	Растворимость неорганических соединений	Токсичность	Сродство к биомассе	Изменчивость
Наибольшее значение	Cr	Ni	Pb	Zn
	Pb	Cu	Cu	Ni
	Cu	Zn	Cd	Cu
	Cd	Cd	Zn	Cd
Наименьшее значение	Ni	Pb	Ni	Pb
	Zn	Cu	Cr	Cr

Константы сродства металлов к клеткам бактерий, вычисленные авторами [33], свидетельствуют о том, что в анаэробных условиях ме-

тантенков происходит образование различных короткоживущих растворимых комплексов тяжелых металлов, которые, таким образом, в условиях иловых площадок способны преобразовываться в более устойчивые с геохимической точки зрения формы. Накопление металлов в органической фракции зависит и от растворимости неорганических соединений. Но, например, хром сравнительно растворим, однако проявлял низкую способность к образованию комплексов с входящими в состав клетки веществами. В то же время, медь и свинец, формируя преимущественно слабо растворимые соединения, тем не менее отличались высоким сродством к биологической фракции. Очевидно, что для Hg будет характерно образование сульфидов и органических комплексов. Не исключено, что в условиях метантенка могут протекать процессы метилирования ртути. В частности, шведские исследователи установили наличие в газах метантенка, выделяющихся при сбраживании канализационных осадков, элементарной ртути Hg^0 и монометилртути $(CH_3)_2Hg$, концентрации которых находились в пределах 50-110 $нг/м^3$ [51].

ОСВ перед их перемещением на иловые площадки представляют собой весьма резко обводненную среду. Важнейшей особенностью их вещественного состава, заметно отличающей их от природных (естественных) осадочных образований, является чрезвычайно высокое содержание органических веществ, что находит отражение в соответствующих значениях потерь при прокаливании, а также резко пониженное количество кремнезема (табл. 7).

Таблица 7. Средний химический состав различных отложений, % [37]

Компонент	ОСВ г. Саранска	Четвертичные отложения [28]	Фоновые почвы *	Фоновый аллювий *
SiO ₂	23,87	73,58	73,69	81,63
TiO ₂	0,25	0,34	0,54	0,33
Al ₂ O ₃	4,70	6,55	6,41	5,22
Fe ₂ O ₃	1,04	2,10	2,59	4,03
FeO	3,00	0,94	0,47	0,57
MnO	0,04	0,044	0,20	0,078
CaO	8,00	5,23	0,47	0,78
MgO	1,40	1,94	0,70	0,37
Na ₂ O	0,58	0,30	0,55	0,56
K ₂ O	0,84	0,30	1,48	1,05
P ₂ O ₅	3,00	-	0,14	0,19
H ₂ O	4,81	-	4,98	1,37
ППП **	46,08	2,22	7,20	3,66
S _{общая}	1,79	-	< 0,10	< 0,10
CO ₂	2,75	-	0,22	0,66

* Окрестности г. Саранска; ** Потери при прокаливании.

Если природные осадочные образования, как правило, характеризуются преобладанием окисного железа над закисным [28], то в ОСВ наблюдается обратная ситуация. Так, если показатель окисления железа в осадках сточных вод в среднем составляет 0,31, то в почвах, аллювии и четвертичных отложениях Русской равнины 4,89; 1,26 и 2,02 соответственно [35]. ОСВ, кроме того, отличаются заметно повышенными содержаниями СаО, фосфора, серы, особенно свободной, и карбонатов, разнообразных органических соединений, в том числе, нередко, трудно идентифицируемого состава или наличие которых часто невозможно предвидеть. Многие из этих соединений могут обладать мутагенной активностью [16].

Механизм действия иловых площадок в основном сводится к следующим процессам [31]: 1) уплотнение осадка и удаление жидкой фазы с поверхности; 2) фильтрация жидкой фазы через слой осадка и удаление ее с помощью дренажа; 3) испарение жидкости со свободной поверхности осадка. При подсушке в зависимости от конструкции площадки и свойств осадка указанные процессы могут сочетаться один с другим. При естественном подсушивании ОСВ на иловых картах вследствие обезвоживания влажность осадков убывает, но все еще остается большой. Одновременно с обезвоживанием происходит нарушение сложившихся в ОСВ физико-химических связей. Из-за обводненности и наличия значительного количества органического вещества осадки являются местом обитания огромных масс микроорганизмов, жизнедеятельность которых в условиях иловых площадок будет способствовать как преобразованию физико-химических параметров среды, так и химико-минералогическим превращениям вещества ОСВ. Очевидно, что значительное количество различных ингредиентов, в том числе и ртути, первоначально накапливается в иловом растворе, а затем при насыщении последнего и при снижении обводненности они могут пересыщать иловый раствор и вновь уходить в осадок в виде твердых фаз, формируя минеральные и органоминеральные новообразования, сорбируясь органическими и тонкими минеральными частицами, осаждаются с оксидами железа и другими коллекторами. Существенная часть растворенных веществ мигрирует с инфильтрующимися водами, поступая в грунтовые воды, а также уносится в атмосферу при выпаривании. В силу известных причин процессы дегазации в атмосферу особенно значимыми будут для ртути. Не исключено также, что некоторые виды бактерий (и дрожжей) будут способствовать восстановлению катиона Hg^{2+} до элементарной ртути (Hg^0) и ее последующего удаления в виде паров. В частности, шведские исследователи установили присутствие элементарной ртути (Hg^0) в газах (в концентрациях до 50-110 нг/м³), выделявшихся из ОСВ; монометилртуть обнаружить не удалось [51].

Определенную роль должна играть и миграция веществ в атмосферу с пылью (при осушении верхней части складированных на иловых площадках ОСВ). Так, изучение распределения ртути в почвах промышленных зон г. Саранска показало, что почвы в пределах комплекса городских очистных сооружений отличаются высокими уровнями этого металла, что, очевидно, обусловлено ветровой эрозией отвалов осадков городских сточных вод и дегазацией летучего металла из толщ последних. Более высокие концентрации ртути закономерно фиксировались лишь в пределах промзон электроламповых заводов (табл. 8).

Таблица 8. Ртуть в почвах промышленных площадок г. Саранска [38]

Завод, предприятие, производство	мг/кг	K_C
Электроламповый (лампы люминесцентные и накаливания)	28,3*	472
Специальных источников света и электровакуумного стекла	0,84**	14
Городские очистные сооружения	0,63	10,5
Полупроводниковых приборов, силовых преобразователей	0,39	6,5
Чугунолитейный	0,36	6
Полупроводниковых изделий	0,27	4,5
Механический	0,16	2,7
Инструментальный	0,15	2,5
Резинотехнических изделий	0,13	2,2
Специальных силовых преобразователей	0,11	1,8

Примечание: * Подавляющая часть проб содержит ртуть в концентрациях, превышающих ПДК (предельно допустимую концентрацию, равную 2,1 мг/кг); ** максимальные значения превышают ПДК; объем выборки – от 10 (большая часть предприятий) до 30 (заводы электроламповый и специальных источников света) проб, отобранных, по возможности, равномерно по территории промзоны; K_C – коэффициент концентрации относительно содержания ртути в фоновых почвах Мордовии (0,06 мг/кг).

Жизнедеятельность присутствующих в ОСВ бактерий, несомненно приводит к появлению в иловой воде избыточных количеств аммиака, диоксида углерода, водорода и других газов, получающихся при разложении органики. Это сопровождается увеличением в иловых водах концентраций бикарбонатов кальция, уровней магния, железа, ряда других элементов. Поскольку микроорганизмы утилизируют свободный кислород, то среда из окислительной может превращаться в восстановительную (глеевую), особенно в нижних горизонтах ОСВ, что должно приводить к редукции железа и других металлов с образованием соединений низкой валентности, обладающих высокой миграционной подвижностью. Развитию восстановительных (глеевых) условий благоприятствует высокое содержание в ОСВ глинистых фракций. В таких усло-

виях может происходить образование сульфидов ртути. Позже в редукцию вступают сульфаты, превращающиеся за счет водорода органических соединений при участии соответствующих бактерий в сероводород. Однако, судя по всему, свободный сероводород в толще осадков представлен главным образом гидросульфидом (SH⁻). Наличие достаточных количеств свободного железа в иловых водах и отложениях должны сдерживать образование значительных количеств свободного сероводорода.

Поведение ртути при утилизации ОСВ

В России ОСВ после обезвоживания на иловых площадках (или после механического обезвоживания) в основной своей массе вывозятся на свалки или специальные полигоны, иногда складываются в карьерах, нередко использовались (и, судя по всему, используются) для засыпки оврагов. Из всей ежегодно образующейся в пределах России массы ОСВ лишь около 10-15% обрабатывается в соответствии с современными требованиями, т. е. уплотняется, стабилизируется, обезвоживается, используется как удобрения [1]. По данным [16], в России в качестве агроулучшителей применяют только 3-4% от общей массы ОСВ. По другим сведениям [17], уровень практического использования ОСВ в настоящее время составляет 1-1,5%. Для размещения и захоронения огромных масс ОСВ занимают значительные территории*.

Например, в Московской области на свалках, полигонах, в карьерах уже размещено 120 млн. т ОСВ [29], по другим сведениям [48], – более 130 млн. т ОСВ. В Нижнем Новгороде только для Нижегородской станции аэрации отведено свыше 155 га плодородной земли [30]. На очистных сооружениях Новосибирска из-за отсутствия необходимого количества центрифуг до 70% ОСВ (влажностью 97%)

* В России содержание ртути в ОСВ, используемых как удобрения, не должно превышать 15 мг/кг сухой массы [26]. На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава не допускается внесение более 10 т/га сухой массы ОСВ в чистом виде или в составе компостов (при периодичности внесения не менее 5 лет). На легких песчаных и супесчаных почвах норма внесения – 7 т/га (периодичность внесения не менее 3 лет). Использование ОСВ на торфяных почвах не рекомендуется. Запрещается применение ОСВ и компостов из них на почвах с pH < 5,5 без предварительного известкования последних, если содержания кальция в осадке или компосте не обеспечивает поддержание pH на уровне 5,5 и более. Уровни ртути в ОСВ, как правило, заметно превышают концентрации ее в стандартных минеральных удобрениях, в которых среднее содержание этого металла оценивается в 0,05 мг/кг [14].

самосвалами вывозятся и складировуются на двух открытых полигонах (отстойниках), в которых уже накоплено более 1 млн. т осадков [20]. Механическому обезвоживанию с помощью центрифуг подвергается лишь около 30% влажных ОСВ, в ходе которого ежедневно производится еще 125 т отходов (около 46000 т в год) на сухую массу. В г. Санкт-Петербурге большая часть образующихся ОСВ захоранивается на специальных полигонах (существующие иловые площадки в районе станций аэрации заполнены). Осадки (механически обезвоженные до влажности не более 80%) доставляются с очистных сооружений к месту размещения автотранспортом, разгружаются в накопитель со специальных разгрузочных площадок, расположенных по контуру земляных карт (емкостей, из которых состоят накопители осадков) [45]. В настоящее время площадь полигонов (некоторые из которых уже заполнены), принимающих ОСВ г. Санкт-Петербурга, составляет 163,5 га [18]. Сейчас изыскиваются и апробируются различные пути утилизации этих отходов, размещенных на закрытых полигонах. Например, на полигоне «Южный» (Волхонка-1) проводились опытные работы по рекультивации иловых карт. На иловых площадках «Горелово» и компостных площадках очистных сооружений г. Пушкина ведутся работы по компостированию ОСВ с торфом, древесными и растительными отходами. Необходимо отметить, что на территории предприятий Ленинградской области имеется 15 шламонакопителей и 174 иловых площадки [47].

При складировании (захоронении) ОСВ (на свалках, полигонах, в карьерах и т. д.) в ходе их разложения и уплотнения, особенно в анаэробных (глеевых) условиях, активно образуются различные газы, а также выделяется (при участии атмосферных осадков) жидкость (свалочный фильтрат), в составе которой выносятся значительные количества различных поллютантов, в том числе и ртуть. В зоне гипергенеза существует множество геохимических процессов, способствующих переводу химических элементов в подвижные (растворимые) формы и обуславливающих активное включение их в миграционные цепи. Поэтому можно предположить, что в ходе преобразования вещества ОСВ различными гипергенными процессами относительное количество (доля в общем балансе) подвижных форм ртути будет, очевидно, увеличиваться. Поверхностные и грунтовые воды в местах складирования подобных отходов практически всегда содержат значительные количества соединений азота (особенно нитратов) и серы (в виде сульфатов). Нитраты, как известно, практически не способны к специфической сорбции в отложениях (почвах), поэтому они будут активно вовлекаться в миграционные процессы. Значительная часть сульфатов также сохраняет свою мобильность и мигрирует с нисходящими и боковыми водами. При этом указанные анионы соединяются как с основаниями почвенно-

го поглощающего комплекса, так и с токсичными элементами, вызывая их эквивалентное выщелачивание (так называемый «анионный вынос» катионов). Например, в районах полигонов складирования ОСВ г. Санкт-Петербурга отмечается загрязнение грунтовых вод широким комплексом поллютантов [18], среди которых присутствуют и ртуть. Так, в грунтовых водах в районе полигона размещения ОСВ с Центральной станции аэрации г. Санкт-Петербурга уровень содержания ртути в 1997 г. достигал 0,7 мкг/л, что существенно превышает фоновые концентрации (ПДК ртути в поверхностных водах = 0,5 мкг/л). Следует отметить, что детальных исследований распределения ртути в зоне влияния указанных полигонов, судя по всему, никогда не проводилось.

Хорошо известно, что для ртути в условиях свалок и полигонов практически всегда фиксируется повышенная миграция в атмосферный воздух. С этой точки зрения показательны данные, полученные в свое время Л.С. Соколовым и др. [27] при исследовании распределения паров ртути в приземном слое атмосферного воздуха в районе полигонов ТБО (табл. 9). Высокие концентрации паров ртути фиксировались практически на всех свалках, причем, как отмечают авторы цитируемой выше работы, чем больше площадь свалки, тем выше было содержание этого металла. Интенсивность концентрирования ртути в воздухе зависела также от времени закрытия полигона или продолжительности его функционирования. Очевидно, следует ожидать повышенной эмиссии ртути в атмосферу и в местах размещения ОСВ, что определяется значительной массой металла, присутствующего в складированных на полигонах осадках. Например, в упомянутых выше 120-130 млн. т ОСВ, размещенных в пределах Московской области, масса ртути при ее средней концентрации даже в 1 мг/кг варьируется в пределах 120-130 т.

Таблица 9. Пары ртути в приземном слое атмосферного воздуха над полигонами ТБО, Московская область [27]

Полигон	Период функционирования	Площадь, га	Концентрация ртути, нг/м ³	
			Средняя	Пределы
Икша	1983-1985	36	32	14-72
Кучино	1971-1983	6	13	11-18
Саларьево	1963-1975	30	30	12-57
Сосенки	1964-1970	44	10	8-12
Щербинка	1969-1985	50	34	8-90
Тимохово	Нет данных	64	-	12-240

Как уже отмечалось, чрезвычайно высоким уровнем содержания ртути характеризуются ОСВ тех городов, в которых расположены «ртутные» производства. Ярким примером являются осадки сточных

вод, образующиеся на очистных сооружениях г. Темиртау (Карагандинская область, Казахстан), где находится завод, в свое время производивший ацетальдегид [34]. Технологический процесс получения ацетальдегида был основан на известной реакции Кучерова, в которой ртуть использовалась (до 70 т ежегодно) в качестве катализатора. На данном производстве сточные воды нейтрализовались и подвергались магнитной и сульфидной обработке в специальных отстойниках. В дальнейшем они с общим стоком завода поступали на очистные сооружения (вместе с бытовым стоком города). В общем случае очистка сточных вод на очистных сооружениях включала следующие стадии: 1) усреднение стоков (на так называемых полях усреднения), 2) механическая очистка, 3) биологическая очистка (в аэротенках), 4) обеззараживание вод, 5) биологическая переработка осадка. Затем сточные воды сбрасывались в р. Нуру ниже г. Темиртау (по так называемой Главной канаве стоков).

Расчеты показывают, что в шламах полей усреднения и осадках сточных вод ежегодно аккумулировалось несколько тонн (видимо, до 10-12 т) ртути. В ОСВ концентрации ртути варьировались в пределах 132-247 мг/кг; еще более высокими уровнями ртути отличаются шламы полей усреднения. В эпифитовзвеси, техногенных илах, формирующихся в русле Нуры ниже города, и в пойменных почвах, заливаемых в половодье, также отмечались высокие концентрации металла (табл. 10).

Таблица 10. Распределение ртути в природно-техногенных компонентах [36]

Компонент	Вал, мг/кг	Выход ртути (% от вала) при различных температурах, С°				
		20-100	100-200	200-300	300-400	400-500
Шлам	422,61	1,8	53,5	23,2	19,6	2,0
ОСВ	233,19	32,4	32,7	32,4	2,1	0,4
Эпифитовзвесь	21,36	11,2	82,0	2,4	1,3	3,0
Ил (0-60 см)	47,62	37,7	54,5	6,4	0,9	0,4
Почва (0-10 см)	6,81	1,6	80,8	5,4	4,5	9,7

Примечание: Шлам – поля усреднения очистных сооружений; ОСВ – остатки иловых карт (в настоящее время полностью обезвожены), там же; эпифитовзвесь – взвесь, сорбированная на макрофитах, река Нура ниже Главной канавы стоков, поступающих с очистных сооружений; ил – река Нура, там же; почва – пойма ниже Темиртау, заливаемая в половодье и паводки; исследование образцов осуществлялось методом получения термического спектра выделения Hg при непрерывном линейно-ступенчатом нагреве пробы с последующим детектированием образовавшейся атомарной Hg на анализаторе ИМГРЭ-900 [8].

Анализ особенностей выхода ртути при нагреве разных проб показывает, что как в ходе очистки сточных вод, так при миграции и перераспределении ртути в условиях окружающей среды происходит транс-

формация ее форм нахождения, как правило, в сторону увеличения относительного содержания более подвижных соединений. С позиций потенциальной миграционной способности (геохимической мобильности) в зоне гипергенеза достаточно условно можно выделить пять групп соединений (форм, состояний) ртути, отвечающих различным температурным фракциям: очень мобильные (температура выхода фракции $< 100^{\circ}\text{C}$), мобильные (температура $100-200^{\circ}\text{C}$), относительно устойчивые ($200-300^{\circ}\text{C}$), устойчивые ($300-400^{\circ}\text{C}$), очень устойчивые (более 400°C). Так, в шламах полей усреднения существенная доля ртути приходится на устойчивые и относительно устойчивые (в сумме – около 43%); доля мобильных соединений составляет 53,5%. В ОСВ доля мобильных и очень мобильных форм заметно возрастает (более 63%) и резко снижается количество устойчивых и очень устойчивых соединений. В эпифитовзвеси относительное содержание мобильных и очень мобильных соединений ртуть еще более увеличивается (в сумме – более 93%). Аналогичное явление фиксируется для илов, где наиболее значительно возрастает доля очень мобильных форм ртути. Илы отличаются и наименьшим относительным содержанием устойчивых и очень устойчивых ее соединений. В почвах доля очень мобильных форм снижается до 1,6% и резко доминируют мобильные формы ртути (около 81%) и заметно возрастает относительное количество ее устойчивых и очень устойчивых соединений.

Во многих странах Западной Европы и в США для утилизации ОСВ широко используется их сжигание. В настоящее время в России также осуществляются проекты сжигания ОСВ на специальных установках. Так, в г. Санкт-Петербурге с 1997 г. на Центральной станции аэрации уже шесть работает завод по сжиганию осадков [21, 44]. В основу проектирования завода положена технология французской фирмы *Omnium de Treatment et de Valorisation* (OTV). Поступающие на Центральную станцию аэрации канализационные стоки с помощью насосов аккумулируются в приемной камере, откуда подаются на механизированные решетки и песколовки, где задерживаются грубые примеси и песок. Далее стоки попадают в первичные отстойники, где отделяются взвешенные и плавающие вещества. Осадок первичного отстойника сжигается. Механически очищенная осветленная сточная вода поступает в аэротенки, куда также подается активный ил и воздух. В аэротенках происходит биологическая очистка сточных вод и удаление растворенных органических соединений. Затем биологически очищенная вода с илом поступает на вторичные отстойники, где происходит разделение воды и ила. Далее вода выпускается в залив, а осевший ил поступает обратно в аэротенки и после регенерации вновь смешивается с поступающей сточной жидкостью. Избыточный ил сжигается. На завод по

сжиганию ОСВ поступаю осадки сточных вод, образующиеся после пребывания в первичных отстойниках, и избыточный уплотненный ил. Производительность завода составляет 250 т сухого вещества в сутки (т. е. более 91 тыс. т в год). После сжигания ОСВ образуется зола, объем которой в 10-12 раз меньше необработанного осадка. Есть сведения, что часть золы используется в производстве керамической плитки. Газы, образующиеся при сжигании ОСВ, перед поступлением в атмосферу подвергаются мокрой очистке. В прессе сообщалось, что степень очистки выбросов соответствует международным стандартам. При средней концентрации ртути в сжигаемых ОСВ в 1,6 мг/кг (см. табл. 1) ежегодно с ними поступает на сжигание порядка 146 кг ртути. Какие-либо сведения об эмиссии ртути в атмосферу при сжигании ОСВ на этом заводе в доступной литературе отсутствуют. Нет также данных о судьбе ртути, уловленной (если такое происходит) в ходе мокрой очистки отходящих газов. Недавно в средствах массовой информации сообщалось, что в Санкт-Петербурге к 2005 г. в дополнение к действующему производству по сжиганию ОСВ будут построены еще два завода: на Северной станции аэрации (производительностью 122,4 т в сутки по сухому веществу) и на Юго-Западных очистных сооружениях (68 т в сутки).

С рассматриваемой точки зрения показательны исследования, выполненные на очистной станции г. Сент-Пол (США), производительностью (по перерабатываемым сточным водам) до 10 м³/с [40]. Используемая здесь технологическая схема предусматривает очистку стоков в аэротенках после прохождения первичных отстойников и последующее сжигание образующихся осадков и избыточного активного ила в многопечных печах. Сточная вода из мокрых скрубберов, очищающих газы из печей, направляется для очистки в аэротенки. Установлено, что около 85% ртути, находящейся в сточных водах, было связано с взвешенными веществами размером 0,005 мм и крупнее. Из ежесуточно приносимых сточной водой в среднем 248 г ртути (=100%) только около 10 г (4%) сбрасывалось с очищенной сточной водой*. Примерно 181 г (73%)

* Простые расчеты показывают следующее. Общее количество поступающих на очистную станцию г. Сент-Пол стоков составляет порядка 315,4 млн. м³. При технических расчетах количество образующихся ОСВ (при средней влажности 96,2%) обычно принимается равным 0,5-1% (среднее 0,75%) от объема очищаемых сточных вод [31]. Плотность ОСВ в среднем составляет 949 кг/м³ [32]. Таким образом, при очистке указанного объема стоков теоретически может образоваться 60-120 тыс. т ОСВ (среднее 90 тыс. т) на сухое вещество. Общая масса ртути, ежегодно поступающей на очистные сооружения со стоками, достигает в среднем 91 кг. Поскольку практически вся она остается в осадке, то уровень содержания ртути в нем в среднем составит примерно 1 мг/кг.

ртути оставалось в осадках первичных отстойников. В аэротенки, где загрязнитель эффективно поглощается хлопьями активного ила, кроме ртути, не задержанной первичными отстойниками (67 г, или 27%), в сутки попадало 153 г ртути (63% от приносимой со сточными водами) с водой из скрубберов газоочистки. В поступающем на сжигание осадке обнаружено до 399 г ртути (161% от поступающей из канализации). В уходящих в атмосферу после очистки газах из печей содержалось 241 г ртути (97%). Из-за принятой схемы газоочистки ртуть циркулировала в системе водоочистки и почти целиком (более 95% от поступающей по канализации) уходила в атмосферу. В шлаках из многоподовых печей ртуть не обнаруживалась.

Потенциальная эмиссия ртути в окружающую среду в составе ОСВ

Существующие в литературе оценки количества ОСВ, ежегодно образующихся в России, достаточно противоречивы*. Так, по данным специалистов НИЦПУРО [9], в нашей стране образуется 30 млн. т осадков сточных вод. Еще один источник оценивает количество образующихся в нашей стране осадков сточных вод в 40 млн. т/год [42]. По другим сведениям [22], в России ежегодно образуется 10 млн. т осадков сточных вод (следует отметить, что в данном источнике речь явно идет только об ОСВ, образующихся на общегородских очистных сооружениях, т. е. шламы производственных сточных вод, образующиеся на локальных заводских сооружениях точно не учитываются). Для еще одной оценки количества (массы) ОСВ, ежегодно образующихся на очистных сооружениях российских городов, воспользуемся следующими сведениями.

Во-первых, имеющиеся данные о количестве ОСВ (на сухое вещество), образующихся на очистных сооружениях различных городов [5, 7, 13, 15, 18, 19, 35, 41, 45, 48], позволяют рассчитать удельное образование осадка (сухое вещество) на одного городского жителя.

Так, на очистных сооружениях г. Владимира образуется 72 кг осадка на одного жителя, в Саранске – 77 кг, в Вологде – 285 кг, в Санкт-Петербурге ежегодное образование ОСВ на городских очистных сооружениях в конце 1990-х гг. оценивалось следующими цифрами: 500 тыс. т, 547 тыс. т (в 1997 г.), 562,1 тыс. т (в 1995 г.), или соответственно 107 кг, 117 кг и 121 кг на одного жителя (среднее – 115 кг), в Москве –

* Как подчеркивают авторы [9а], имеющиеся сведения по данному вопросу весьма разноречивы и отличаются между собой в десятки раз.

289 кг (по данным «МосводоканалНИИпроект», в городе ежегодно образуется порядка 3 млн. т ОСВ; не исключено, что могут учитываться и шламы промышленных стоков, образующиеся на локальных очистных сооружениях различных предприятий), в Пензенской области – 300 кг, в г. Сочи (в 1992 г.) – 37 кг. Интересно отметить, что в городе Саппоро аналогичный показатель составляет 110 кг [52], в городах Швеции – 118 кг [49], для ФРГ (в 1990 г. в расчете на одного городского жителя) – 73 кг [50].

Среднее из всех выше приведенных значений (без учета двух крайних) составляет 142,4 кг осадка на одного городского жителя. Городское население России составляет 106,4 млн. чел., из которых более 90% – 96,8 млн. чел. – проживает непосредственно в городах (остальное городское население проживает в поселках городского типа, где определенная часть территории неканализована). С учетом сделанных замечаний общее количество ОСВ, образующихся на очистных сооружениях городов России, составляет порядка 13,8 млн. т (на сухое вещество).

Во-вторых, при технических расчетах количество образующихся ОСВ (при средней влажности 96,2%) обычно принимается равным 0,5-1% (среднее 0,75%) от объема очищаемых сточных вод [31]. Плотность ОСВ в среднем составляет 949 кг/м³ [32]. Общий объем образовавшихся в российских городах и поселениях сточных вод в 2001 г. составил примерно 50 млрд. м³ [23]. Объем ОСВ (при их средней влажности 96,2%) составляет 0,75% от указанного количества сточных вод, т. е. 375 млн. м³, или 14,2 млн. м³ сухого вещества. При удельной плотности ОСВ в 949 кг/м³ их масса будет равна примерно 13,5 млн. т.

В-третьих, будем считать, что доля промышленных сточных вод, поступающих на общегородские очистные сооружения в среднем составляет порядка 25% (т. е. остальное – это бытовой сток). Согласно [9а], количество сухих осадков от бытовых сточных вод после механической и биологической очистки определяется из расчета задерживаемых 80 г/чел. в сутки. Для России в целом это составит 2826560 т (80 г x 365 дней x 96,8 млн. городских жителей) ОСВ*. Количество промышленных стоков, ежегодно поступающих на совместную очистку с бытовыми сточными водами на общегородские очистные сооружения, исходя из выше принятого допущения, в целом для России составит 12,5 млрд. м³. Согласно [9а], среднее удельное количество сухих осадков, задерживаемых при очистке промышленных стоков, составляет 800-900 г/м³ (среднее 850 г/м³). Отсюда следует, что общее количество

* (80 г x 365 дней) – дает 29,2 кг в год. Анализ многих публикаций и соответствующие расчеты показывают, что в городах Европы и США количество ОСВ, ежегодно образующихся при очистке бытовых стоков, колеблется в пределах 26-33 кг на одного городского жителя.

образующихся в целом по стране осадков сточных составит 10625000 т (850 г x 1250000000 м³). Суммарное количество «промышленных» и «бытовых» ОСВ достигает, таким образом, примерно 13,5 млн. т.

Из трех полученных (и очень близких) расчетных оценок возьмем среднюю величину – 13,6 млн. т. Как было показано выше, средняя концентрация ртути в ОСВ, образующихся в российских городах, была определена в 1,4 мг/кг. Отсюда следует, что общая масса ртути, ежегодно накапливающейся в указанном количестве ОСВ, составляет примерно 19 т (13,6 млн. т x 1,4 г/т).

Таким образом, общее количество ртути, ежегодно концентрирующейся в образующихся в последние годы в городах России ОСВ, составляет в среднем 19 т. С определенной долей условности можно принять, что не менее 5% из указанного количества (~ 1 т металла) ежегодно в конечном счете поступает в атмосферу (дегазация и пыление отвалов ОСВ, сжигание), а около 10% (~ 2 т) – в грунтовые воды и в местные водотоки (инфильтрация, поверхностный сток и др.). Остальная ртуть находится в складированных ОСВ и потенциально способна к рассеиванию в окружающей среде.

Степень очистки сточных вод от ртути используемыми в российских городах механическими и биологическими способами достоверно неизвестна. С определенной долей условности можно принять, что в России КПД очистки сточных вод от ртути на общегородских очистных сооружениях составляет 75%. Таким образом, в целом по стране на очистные сооружения со сточными водами поступает примерно 25 т ртути. Отсюда следует, что примерно 6 т ртути ежегодно сбрасывается в водные объекты в составе отводимых с общегородских очистных сооружений сточных вод. Эта оценка существенно превышает учитываемый официальной статистикой сброс ртути со сточными водами промышленных предприятий. (Указанную цифру – 25 т – можно в определенной степени условно «проконтролировать», если допустить, что типичная концентрация ртути в сточных водах, поступающих на очистку на городские сооружения, составляет 0,5 мкг/л. При прохождении через очистные сооружения не менее 50 млрд. м³ стоков в год количество связанной с ними ртути будет составлять 25 т.)

Есть сведения, что в городах мира ежегодно образуется около 500 млн. т осадков сточных вод [6]. При средней концентрации ртути в ОСВ в 1 мг/кг общее количество аккумулирующегося в них металла в целом для всего мира составит 500 т.

Безусловно, все выше приводимые количественные оценки в существенной степени носят ориентировочный характер, но, тем не менее, есть все основания полагать, что они достаточно адекватно отражают порядок концентрирования ртути в осадках сточных вод, образующихся

на очистных сооружениях городов России и представляющих собой серьезный потенциальный источник поступления ртути в окружающую среду.

Заключение

Ртуть является типичным элементом геохимических ассоциаций, свойственных осадкам городских сточных вод. В большинстве случаев содержания ее в ОСВ редко превышают существующие нормативы для ОСВ, планируемых использоваться в качестве агромелиорантов. Максимальные концентрации ртути (десятки-сотни мг/кг сухого осадка) характерны для городов, где расположены «ртутные» производства, сточные воды которых поступают на общегородские очистные сооружения. Уровни металла в осадках многофункциональных промышленных городов обычно находятся в пределах 1-10 мг/кг. В ОСВ, образующихся на очистных сооружениях «малопромышленных» и «непромышленных» городов, они, как правило, не превышают 0,1 мг/кг сухой массы осадка.

Интенсивность концентрирования ртути в ОСВ в существенной степени зависит от специфики промышленных предприятий, сбрасывающих сточные воды в городскую канализацию, в меньшей – от размеров городов (численности населения). Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что с увеличением числа жителей фиксируется снижение уровней содержания ртути в ОСВ, что, очевидно, связано с «разбавляющим» влиянием бытового стока (в составе сточных вод, поступающих на общегородские сооружения, заметно доминируют коммунально-бытовые сточные воды). В процессе очистки сточных вод и в ходе миграции ртути в окружающей среде происходит трансформация ее первичных форм, как правило, в сторону увеличения относительного содержания подвижных соединений.

Ежегодно в целом по России в составе сточных на общегородские очистные сооружения поступает в среднем примерно 25 т ртути, из которых не менее 6 т сбрасывается в водотоки и водоемы. Остальное количество металла (примерно 19 т) аккумулируется в ежегодно образующихся 13,6 млн. т осадков сточных вод (на сухое вещество), в которых средняя концентрация ртути оценивается в 1,4 мг/кг. С определенной долей условности можно считать, что не менее 5% из указанного количества (~ 1 т металла) в конечном счете поступает в атмосферу, а около 10% (~ 2 т) – в грунтовые воды и в местные водотоки. Ртуть, аккумулированная в складированных ОСВ, является потенциально способной к рассеиванию в окружающей среде.

По имеющимся оценкам, в городах мира ежегодно образуется около 500 млн. т осадков сточных вод. При средней концентрации ртути в ОСВ в 1 мг/кг общее количество аккумулирующегося в них металла в целом для всего мира составит 500 т.

Несмотря на то, что приводимые оценки в существенной степени носят ориентировочный характер, они, тем не менее, достаточно адекватно отражают порядок концентрирования ртути в осадках сточных вод, образующихся на очистных сооружениях городов России и представляющих собой серьезный потенциальный источник поступления ртути в окружающую среду.

Литература

1. *Агранович Р.Я.* Проблемы обработки осадков городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника, 1992, № 4, с. 2-3.
2. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
3. *Арефьева З.Н., Будников Г.К., Селивановская С.Ю. и др.* К выбору рабочих условий определения микроэлементов в составе осадков сточных вод городских очистных сооружений // Химия в интересах устойчивого развития, 2002, 10, № 4, с. 401-408.
4. *Ачкасов А.И.* Распределение микроэлементов в агроландшафтах Московской области: Автореф. дис. канд. географ. наук. – М.: ИМГРЭ, 1987. – 24 с.
5. *Борейша С.С., Кесельбренаер П.И.* Опыт обработки осадков сточных вод на очистных сооружениях г. Сочи // Водоснабжение и санитарная техника, 1992, № 4, с. 5-6.
6. *Вавилин В.А., Рытов С.В., Локшина Л.Я.* Исследование процессов разложения твердых бытовых отходов с помощью имитационной модели «Метан» // http://www.md.mos.ru/conf/safety/sec_2/vav.htm (02.02.1999).
7. *Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И., Флоринская Т.М.* Отходы: проблемы и решения // Объединенный научный совет «Экология и природные ресурсы», Санкт-Петербургский научный центр РАН // <http://spbrc.nw.ru/ecology/news/index.htm> (28.05.2004).
8. *Волох А.А., Колесов А.А., Чернова А.Е.* Определение термоформ ртути методом атомной абсорбции // Геохимические исследования городских агломераций.- М.: ИМГРЭ, 1998, с. 126-132.
9. *Девяткин В.В., Дюкин В.А., Гаев Ф.Ф. и др.* О необходимости создания в России системы вторичных ресурсов // <http://www.waste-manager.samara.ru/article7.htm> (06.10.2003).
- 9а. *Евилевич А.З., Евилевич М.А.* Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
10. Завод по сжиганию осадка сточных вод Петербурга отметил шестилетие // <http://www.lenizdat.ru/a/ru/pm1/c.shtml?i=1014530...> (25.04.2004).

11. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
12. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
13. *Касатиков В.А., Чуркина В.П., Касатикова С.М., Данилина Н.И.* Особенности сельскохозяйственного использования осадков городских сточных вод // Использование осадков сточных вод и твердых бытовых отходов в сельском хозяйстве (Тезисы докл. Координационного научно-технического совета). – Владимир: ВНИПТИОУ, 1983, с. 5.
14. *Ковда В.А.* Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
15. Коротко о переработке БО в городах России // http://websib.ru/~ecology/sch79/bo_rus.htm (06.02.2003)
16. *Латыпова В.З., Селивановская С.Ю.* Некоторые аспекты нормирования качества и утилизации осадков сточных вод // Экологическая химия, 1999, 8, № 2, с. 119-129.
17. *Лотош В.Е.* Утилизация канализационных стоков и осадков // Ресурсосберегающие технологии, 2002, № 24, с. 7-24.
18. Образование, поступление, использование и размещение отходов // <http://www.ecolog.nw.ru/REVIEW97/15.htm> (29.07.2002).
19. Отходы не зарывать, а перерабатывать. Журнал «Экология и жизнь», 2003, № 1 // http://igree.narod.ru/news/source/may30_03_2.html (03.06.2003).
20. Оценка энергетического потенциала использования отходов в Новосибирской области // http://www.cogeneration.ru/art/alt_fuel/novosibirs... (22.03.2004).
21. Природно-ресурсные ведомости, 2003, № 35 (194).
22. Российский ресурс // <http://www.dvpt.ru/?page=analytics041> (26.05.2004).
23. Российский статистический ежегодник.2002. Ст. сб. – М.: Госкомстат, 2002. – 690 с.
24. *Рэуце К., Кырстя С.* Борьба с загрязнением почв: Пер. с румын. – М.: Агропромиздат, 1986. – 221 с.
25. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
26. СанПиН 2.1.7.573.-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения.
27. *Соколов Л.С., Горшенина С.В., Соколова Т.И., Тарфеев В.Н.* Ртуть в приземной атмосфере Москвы и некоторых других районов Советского Союза. – М.: МОМГЭ ИМГРЭ, 1986. – 143 с.
28. Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
29. Тезисы выступления Голубева Н.А. на заседании Общественной палаты 27.04.2004 // <http://www.palata.mosreg.ru/golubev.htm> (12.05.2004).
30. *Торунова М.Н., Исаев В.В., Бакаев В.В. и др.* Обезвреживание и утилизация осадка сточных вод городских очистных сооружений // Экология и промышленность России, 1998, август // http://www.rusmet.ru/ecology/articles/08_98st.htm.

31. *Туровский И.С.* Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.
32. Утилизация твердых отходов: Пер. с англ.: В 2-х т. – М.: Стройиздат, 1985, т. 1. – 336 с.; т. 2 – 348 с.
33. Химия промышленных сточных вод: Пер. с англ. – М.: Химия, 1983. – 360 с.
34. *Янин Е.П.* Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
35. *Янин Е.П.* Геохимические особенности осадков сточных вод промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1996. – 41 с.
36. *Янин Е.П.* Ртуть в осадках городских сточных вод // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 143-152.
37. *Янин Е.П.* Техногенные речные илы в зоне влияния промышленного города (формирование, состав, геохимические особенности). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 100 с.
38. *Янин Е.П.* Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2003. – 82 с. .
39. *Adriano D.C.* Trace elements in the terrestrial environment. – New York etc.: Springer-Verlag, 1986. – 533 p.
40. *Balogh S., Liang L.* Mercury pathways in municipal wastewater treatment plants // Water, Air, and Soil Pollut., 1995, 80, № 1-4, p. 1181-1190.
41. <http://eisspb.narod.ru/waster>.
42. <http://www.eltech.ru/electrician/archiv/e1982tex.ht...> (31.01.2002).
43. <http://gupr.pti.ru/main/soos.htm>.
44. <http://www.abnews.ru>.
45. <http://www.ecosafe.nw.ru/ECO/wasters.htm>.
46. <http://www.krassever.ru/archiv>.
47. <http://www.medline.ru/thorough/oglav/san/100/10.sh...> (28.04.2002).
48. <http://www.rekont.ru/?water> (29.04.2004).
49. *Modig S.* Harte Auflagen // Sekundar Rohst., 1991, 8, № 12, s. 370-376.
50. *Rudolph R.-U.* Auswirkungen der Klärschlammverbrennung auf die Umwelt (Überblick) // Müll. und Abfall., 1990, 22, № 8, s. 481-484, 486-489.
51. *Sommar J., Feng Xinbin, Lindqvist O.* Speciation of valilile mercury species present in digester and deposit gases // Appl. Organomet. Chem., 1999, 13, № 6, p. 441-445.
52. *Uawamura K.* Application of sewage compost on agricultural land and operations research for utilizing the value of compost (actual application by Sapporo city) // Trans. 14th Int. Congr. Soil Sci., Kyoto, Aug., 1990, v. 4, Commis. 4. – Kyoto, p. 530-531.
53. *Wagner K.H.* Gefährliche Stoffe in Bodenverbesserungsmitteln // Naturwissenschaften, 1973, 60, s. 160-161.

Содержание

Введение.....	3
Уровни содержания ртути в ОСВ.....	4
Поведение ртути при очистке сточных вод и обезвоживании ОСВ.....	8
Поведение ртути при утилизации ОСВ.....	13
Потенциальная эмиссия ртути в окружающую среду в составе ОСВ.....	19
Заключение.....	22
Литература.....	23

Янин Евгений Петрович
Осадки городских сточных вод как источник поступления ртути
в окружающую среду

Подписано к печати 04.06.04.
Формат 60 x 90 1/16. Уч. изд. л. 1,6.
Тираж 100. Заказ
Полиграфическая база ИМГРЭ