

Е. П. Пахненко

# ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД И ДРУГИЕ НЕТРАДИЦИОННЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ



БИНОМ

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>Глава 1. Методы утилизации осадков</b> . . . . .	<b>6</b>
1.1. Состав осадков, нормативы, классификация . . . . .	6
1.2. Перспективные технологии переработки осадков . . . . .	15
1.2.1. Низкотемпературный пиролиз осадков . . . . .	15
1.2.2. Переработка активного ила в кормовой продукт . . . . .	16
1.3. Биотехнология переработки отходов на основе микробных ассоциаций . . . . .	18
1.3.1. Биоудобрение на основе жидкого свиного навоза — бамил . . . . .	18
1.3.2. Биоудобрения на основе птичьего помета . . . . .	22
1.3.3. Биокомпосты на основе микробных активаторов . . . . .	26
<b>Глава 2. Технологии очистки и переработки осадков сточных вод</b> . . . . .	<b>32</b>
2.1. Современные макротехнологии очистки городских сточных вод . . . . .	32
2.1.1. Аэробная и анаэробная ферментация осадков, процессы, преимущества биологической технологии . . . . .	32
2.1.2. Совместная термическая переработка ОСВ и твердых бытовых отходов (ТБО) . . . . .	47
2.1.3. Методы рекультивации иловых площадок, депонирование осадков в котлованах и наземных холмах . . . . .	48
2.2. Локальные системы очистки сточных вод, организмы биоиндикаторы очистки . . . . .	52
<b>Глава 3. Санитарно-паразитологические показатели осадков, методы обеззараживания</b> . . . . .	<b>64</b>
3.1. Возбудители паразитарных болезней, санитарные критерии оценки почв . . . . .	64
3.2. Основные методы обеззараживания осадков сточных вод, приемы удаления тяжелых металлов . . . . .	73
3.2.1. Физические методы обеззараживания . . . . .	74

3.2.2. Химические методы обеззараживания . . . . .	76
3.2.3. Биотермические методы обеззараживания (компостирование) осадков . . . . .	82
3.2.4. Приемы удаления тяжелых металлов из осадков . . . . .	88
3.2.5. Приемы обеззараживания осадков в индустриальных странах. . . . .	92
3.3. Устойчивость растений к болезням при внесении ОСВ в почву . . . . .	96
<b>Глава 4. Требования к осадкам сточных вод. Дозы, особенности внесения ОСВ под сельскохозяйственные культуры . . . . .</b>	<b>102</b>
4.1. Показатели осадков при использовании в агроценозе . . . . .	102
4.2. Удобрительная ценность осадков, экологический контроль . . . . .	106
4.3. Дозы внесения осадков сточных вод в почву . . . . .	109
4.4. Особенности и сроки внесения ОСВ под основные сельскохозяйственные культуры . . . . .	122
<b>Глава 5. Влияние осадков сточных вод на плодородие почв . . . . .</b>	<b>125</b>
5.1. Влияние осадков на физические свойства почвы. . . . .	125
5.2. Влияние ОСВ и компостов на кислотно-основные свойства почв . . . . .	131
5.3. Осадки сточных вод и компосты как источники органического вещества и азота в агроэкосистеме . . . . .	140
5.4. Применение осадков сточных вод и динамика фосфора в почвах. . . . .	150
5.5. Применение осадков сточных вод и динамика калия в почвах. . . . .	157
5.6. Коэффициент использования биоэлементов из осадков сточных вод (КИУ) . . . . .	168
<b>Глава 6. Биологическая активность почв при внесении ОСВ и компостов . . . . .</b>	<b>172</b>
6.1. Содержание микроорганизмов в осадках, численность, видовой состав . . . . .	172
6.2. Биологические параметры для оценки интенсивности процессов в осадках и почве . . . . .	178
6.3. Ферментативная активность почв и применение ОСВ . . . . .	184

<b>Глава 7. Тяжелые металлы в почвах агроценозов при внесении ОСВ. . . . .</b>	<b>197</b>
7.1. Нормирование тяжелых металлов, их трансформация при внесении осадков в почву, источники поступления. . .	197
7.2. Фракционный состав соединений ТМ в почвах при внесении осадков сточных вод . . . . .	205
7.3. Приемы детоксикации ТМ в почвах агроценозов. . . . .	212
7.4. Особенности применения ОСВ в агроценозах Московской области . . . . .	222
7.5. Расчет дозы внесения ОСВ с учетом содержания ТМ . . . .	225
<b>Глава 8. Влияние осадков сточных вод на поступление тяжелых металлов в сельскохозяйственную продукцию . . . . .</b>	<b>227</b>
8.1. Тяжелые металлы в зерне и в соломе, влияние агротехнических условий на их содержание. . . . .	228
8.2. Тяжелые металлы в пропашных и овощных культурах. . . .	235
8.3. Виды и сорта сельскохозяйственных растений, устойчивые к тяжелым металлам . . . . .	242
8.4. Применение ОСВ и особенности поступления ТМ в растительную продукцию . . . . .	243
<b>Глава 9. Нетрадиционные органические удобрения и химические мелиоранты. . . . .</b>	<b>248</b>
9.1. Состав и свойства сапропелей, использование в агроценозе . . . . .	248
9.2. Бикомпосты на основе сапропелей, агротехнические особенности, влияние на плодородие почвы . . . . .	252
9.3. Бардяной ил, свойства, особенности применения . . . . .	258
<b>Глава 10. Использование осадков сточных вод в агроценозах, при лесоразведении, в зеленом строительстве . . . . .</b>	<b>263</b>
10.1. Внесение осадков в агроценозах, агротехнические условия . . . . .	263
10.2. Использование осадков сточных вод при лесоразведении и лесовосстановлении . . . . .	273
10.3. Использование осадков сточных вод в зеленом строительстве . . . . .	280
10.4. Экономическая эффективность использования осадков сточных вод . . . . .	283
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>291</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>294</b>
<b>Приложение . . . . .</b>	<b>303</b>

# ВВЕДЕНИЕ

Количество городских стоков и осадков сточных вод (ОСВ) постоянно растет, вместе с этим обостряются проблемы, связанные с их рациональной, экономически эффективной и экологически безопасной утилизацией. Предлагаются качественно новые и совершенствуются уже используемые методы очистки стоков, обезвоживания и хранения ОСВ. Разрабатываются научно-обоснованные технологии их применения в качестве удобрений и нормативные документы по этим вопросам. Среди них международные — Директива 86/278/ЕС; «Рабочий документ», 2000; российские — ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений»; «Гигиенические требования к безопасности агрохимикатов, СП 1.2.1170-02». В стадии разработки находятся технологические регламенты. Нормативно-правовая база, регламентирующая особенности технологий, связанных с получением безопасной растениеводческой продукции и предотвращения возможного загрязнения почв, нуждается в постоянном совершенствовании на основании результатов комплексных научных агроэкологических и микробиологических исследований.

Осадки сточных вод представляют собой отдельный вид отходов, образование которого в условиях городов составляет 30–45% от общего количества отходов производства и потребления. На территории России выделяется ряд регионов, где существует реальная угроза ухудшения экологической и санитарно-эпидемиологической обстановки, возникновения чрезвычайных ситуаций из-за аварий в системах городских очистных сооружений, станциях аэрации, прудах-накопителях и т. д.

Только в Москве на очистных сооружениях ежегодно образуются миллионы тонн осадков. Практически все они обезвоживаются по новой технологии. Для их складирования (депонирования) заняты значительные площади, а экологически безопасная переработка и хранение требуют привлечение значительных материально-технических ресурсов. Проведение мероприятий по выводу ряда производств и модернизации системы городских очистных сооружений способствовало изменению состава осадков сточных вод. В них снизилось содержание соединений химических элементов, относящихся к потенциальным загрязнителям агроэкосистем. Появляется реальная возможность их утилизации в Московской области

с получением качественной сельскохозяйственной продукции и обеспечением воспроизводства плодородия почв.

За рубежом, в зависимости от региональных геоэкологических особенностей стран, в агропроизводстве (земледелии) используют от 10 до 90% накапливающихся ОСВ, в среднем в Западной Европе — 30–40%. В мире прослеживается устойчивая тенденция к ежегодному росту этого показателя в общих объемах утилизации. По прогнозам, в США к 2010 г. он составит не менее 60%. В нашей стране по самым оптимистическим оценкам использование ОСВ в агрикультуре пока достигает лишь 5%. Отсутствие существенных позитивных результатов в ряде агрономических экспериментов позволило высказать сомнения в целесообразности и возможности рационального использования ОСВ в земледелии и кормопроизводстве. С учетом сложившейся в аграрном секторе страны ситуации, при резком дефиците минеральных и органических удобрений, напротив, высказывается мнение о том, что только дозы ОСВ 30–40 т/га и более могут привести к значимым изменениям агрохимических свойств почв и будут экономически рентабельны. В то же время именно в России (в Московской области, в частности) остро стоит проблема изучения последствий разового и систематического внесения высоких доз ОСВ, достигающих в 1985–1990 гг. 150–200 т/га и более. В этой связи особенно актуально проведение системного анализа накопленной ранее информации результатов комплексных исследований и накопленного практикой утилизации и использования ОСВ опыта.

Биологические процессы в почвах являются системообразующими, определяют ряд важнейших экологических функций почвенного покрова, а также условия формирования полноценной и безопасной растительной продукции. Показатели, характеризующие состояние почвенной микрофлоры и интенсивность процессов микробной трансформации азота, углерода и иных биофильных элементов в почвах, можно использовать в качестве диагностического критерия устойчивого функционирования агроэкосистем и процессов восстановления их природно-ресурсного потенциала. Существующих методик для нормирования воздействия ОСВ на природные среды, оценки последствий их применения, а также эффективности агротехнологий утилизации осадков крайне недостаточно.

В настоящее время однозначно не решен вопрос о критериях и параметрах использования возрастающих доз различных по предварительной очистке, условиям и срокам хранения типов ОСВ и компостов, приготовленных на их основе. Изучение состояния

почвенной микрофлоры и показателей интенсивности биологических процессов, обобщение данных ранее проведенных полевых опытов и результатов длительного почвенно-экологического мониторинга позволят оценить уровень плодородия почв, способность самовосстановления агроэкосистем и реабилитации (ремедиации) земель после разового и систематического внесения высоких доз ОСВ. Такие исследования имеют большое научное и практическое значение, поскольку могут помочь в принятии решений о возможности экологически оправданного и безопасного использования ОСВ в земледелии, кормопроизводстве и зеленом строительстве при утилизации этого вида отходов.

# Глава 1

## МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ

### 1.1. Состав осадков, нормативы, классификация

Методы утилизации осадков сточных вод и их соотношение указаны на начало XXI века. Соотношение методов является устойчивой, но непостоянной величиной. Разработка новых технологий, забота об охране окружающей среды, государственное законодательство изменяют эти показатели в сторону возможной экологизации. Основными определяющими факторами утилизации являются следующие:

- а) наличие свободных территорий для складирования и хранения;
- б) экономические ресурсы, необходимые для капитального строительства и эксплуатации очистных сооружений;
- в) альтернативные экологические технологии утилизации ОСВ, которые отличаются высокой наукоемкостью.

Например, в будущем европейские страны предполагают до минимума снизить, а Швеция — совсем исключить захоронение отходов на свалках. В Германии планируют увеличить использование отходов в сельскохозяйственном производстве с 25 до 40%; в настоящее время более половины их захоранивается на свалках. В Финляндии из общего количества осадков, которое используется в виде удобрений, одна треть вносится на поле, 17% — применяются для городского озеленения, одна треть — при обустройстве магистральных дорог и около 20% компостируется.

В табл. 1-1 показано, что в современных условиях одним из основных методов утилизации осадков является сжигание. В развитых капиталистических странах, особенно в Японии и США, к началу 1980-х годов этот метод являлся самым распространенным. Основное достоинство метода: малая площадь, необходимая для утилизации, независимость от климата и времени года, а также малое количество зольного продукта, который можно безопасно ис-



**Таблица 1-1.** Основные методы утилизации осадков сточных вод (в %) в современных условиях

Страна	Использование в с/х	Захоронение на свалках	Сжигание	Сброс в море, океан и др. технологии
Англия	53	16	7	24
Австрия	20	49	31	—
Германия	25	55	15	5
Дания	45	28	18	9
США	25	25	35	15
Италия	20	60	—	20
Финляндия	40	41	—	19
Швейцария	50	30	20	—
Швеция	60	30	—	10
Франция	23	46	31	—

пользовать в дорожном строительстве. Однако в современных условиях такой метод вызывает много критических замечаний.

Бытовые отходы — это громадное количество органического вещества, которое безвозвратно теряется не только отдельными странами, но и планетой в целом. Газообразные продукты сжигания, такие как оксиды серы, мышьяка, тяжелых металлов, а также сероводород и хлор загрязняют атмосферу. Выброс в атмосферу при переработке 1 т отходов составляет 27 кг. При этом не учитывается, что происходят безвозвратные потери окислов биофильных элементов, таких как азот, фосфор, калий, магний, медь и других, необходимых для почвы и растений. Расчеты показывают, что количество тепловой энергии, которое затрачивается на сжигание отходов даже по современным технологиям, на 30% превышает ту энергию, которая получается при их переработке (Покровская, Касатиков, 1987). Для сжигания осадков применяют специальные печи (циклонные, барабанные, печи с кипящим слоем), но все они требуют предварительного обезвоживания осадков. При высоком содержании воды в осадках сточных вод расход тепла на испарение воды намного превышает тепловую энергию, которая получается при их утилизации.

В современных условиях многие страны применяют совместное сжигание твердых бытовых отходов и осадков сточных вод. Од-

нако при этом содержание твердых веществ в осадках должно быть не ниже 40%, а суммарная влажность не более 60%. Следовательно, в условиях Российской Федерации, особенно в Центральной Нечерноземной зоне, такой переработке будут препятствовать и климатические условия. Даже при хорошей водоотдаче перерабатываемых осадков предстоят большие экономические затраты на их обезвоживание и сушку.

Следовательно, метод сжигания осадков следует реализовать только в том случае, если ни один другой более эффективный способ использования осадков невозможен. Такая система утилизации существует в Выборгском районе Ленинградской области, что связано с высокой плотностью населения и негативными климатическими условиями: высокое количество атмосферных осадков, близкое залегание грунтовых вод, высокая влажность твердых бытовых отходов.

В индустриально развитых странах на одного жителя в год образуется около 19–20 кг сухого вещества осадков сточных вод, поэтому можно приблизительно рассчитать производство осадков для каждой страны, зная численность населения. Однако такие методы утилизации как сброс в океан и сжигание заведомо дают более низкие цифры. Например, при близкой численности населения в таких странах как Франция (54,2 млн человек) и Англия (56,1 млн человек) различия по производству осадков составляют 2,4 раза: производство их во Франции составляет всего 510 тыс. т, а в Англии — 1240 тыс. т. Несколько меньше дисбаланс между численностью населения и производством осадков в Италии.

Высокая степень несоответствия этих показателей наблюдается в Бельгии, Нидерландах и других странах.

В странах континентального климата с высокой суммой положительных температур переработка отходов осуществляется проще и с меньшими затратами. Примером такой технологии является наземное компостирование отходов в неглубоких траншеях с принудительной подачей кислорода и слабым подогревом всей смеси. Срок компостирования в условиях Лос-Анджелеса составляет всего три месяца.

В РФ производство осадков сточных вод оценивается в 2,5 млн т сухого вещества в год. В качестве удобрений в сельскохозяйственном производстве используется около 7% осадков. Основной метод утилизации — сохранение осадков на иловых картах или захоронение. Термические методы переработки осадков в РФ практически не используются из-за высокой стоимости капитальных сооружений. Более широкое применение они находят в малоземельных странах, таких как Дания (Хенце и др., 2004).

Результаты научных и научно-практических разработок отечественных ученых позволили создать нормативную базу в РФ по применению осадков и компостов на их основе для удобрения сельскохозяйственных и садово-огородных культур, а также для использования в зеленом строительстве и для биологической рекультивации нарушенных земель. Эти нормативы явились основой для Государственного стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Охрана природы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений».

В табл. 1-2 показано, что одним из основных показателей, по которому определяется пригодность осадков, является содержание в них органического вещества. Для использования в сельскохозяйственной практике пригодны осадки, которые содержат более 20% органического вещества на естественную влажность, так как влажность осадков этим документом не нормируется. Анализ по городам и странам показывает, что в основном осадки сточных вод содержат органического вещества заметно больше (около 50%). Соответственно, все представленные осадки имеют содержание общего азота намного больше, чем предусмотрено ГОСТ. В основном, содержание общего азота в осадках 2,0–2,5%, а по нормативу — 0,6%.

Увеличение содержания органического вещества в почве находится в прямой зависимости от дозы применяемых органических удобрений. На черноземных почвах осадки и навоз, внесенные в эквивалентной дозе, оказывали одинаковое влияние на состояние гумусовых веществ, в том числе и на содержание лабильных органических веществ (ЛОВ).

Повышение содержания органических веществ позитивно влияет на содержание азота в почве и, как правило, сопровождается повышением биологической активности почвы. Степень эффективности определяется взаимодействием абиотических и биотических факторов в агроценозе и прослеживается на протяжении 3–5 лет после внесения осадков.

Обычно осадки сточных вод рассматриваются как надежный источник пополнения фосфора в агроценозе. Однако участие осадков в круговороте элементов устойчиво проявляется не только через поступление их с промышленным стоком, но и через процессы малого биологического круговорота в звене «почва–растения–животные–человек». В связи с этим на малоплодородных почвах с низким содержанием биогенных элементов формируются осадки, в которых содержание фосфора меньше, чем по нормативу. Низкое содержание фосфора ( $P_2O_5$ ) 0,65–1,2% имеют осадки городов Владимир, Иваново, Павловск и т. д.

**Таблица 1-2.** Состав ОСВ некоторых населенных пунктов после очистки

Показатели	ГОСТ, 2001.174.3.07	г. Москва, Курьяновская СА, 2003 г.														Италия, г. Пиза, 1999 г.	Канада, 1999 г.			
		г. Санкт-Петербург (г. Пушкин)	Санкт-Петербург (г. Павловск)	г. Н. Новгород, 2004 г.	г. Новосибирск, 2001 г.	г. Улан-Удэ, 2002 г.	г. Рубцовск, Ярославская обл., 2000 г.	г. Энгельс, Саратовская обл., 2001 г.	г. Владимир, 2001 г.	г. Казань, 2001 г.	г. Иваново, 2001 г.	г. Архангельск, ОСВ с ЦБК, 2000 г.	г. Шекино, Тульская обл., АО «Азот», 1995 г.	Швеция, Упсала, ср. многолетние						
Влажность, %	Не нормирован	84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42	—	62	—	77	—	80	
Органическое в-во, %	≥20	45	74,0	56	—	48	32	51	38-70	33	48	60	60	51	60	28-32	60	—	52	
Азот общий, %	≥0,6	1,8	4,3	2,0	3,0	2,0	2,1	2,7	1-5	1,3	2,0	2,8	2,8	2,2	3,7	0,4-1,0	3,7	—	3,7	
Фосфор общий (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), %	≥1,5	3,9	2,4	1,2	4-7	4,5	2,4	2,6	1-3	2,4	0,7	3,0	3,0	1,1	3,0	3,0-4,9	3,0	—	2,3	
Калий общий (K <sub>2</sub> O), %	Не нормирован	0,2	0,4	0,4	0,4	0,7	0,7	0,4	0,7-1	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	—	0,1-0,4	—	—	1,0	
Кальций, %	Не нормирован	3,7	0,5	0,2	—	—	7,0	—	18	—	4,9	—	—	—	0,7	9-11	—	—	0,4	
pH <sub>(КС)</sub>	5,5-8,5	6,9	—	—	6,3	7,3	7,4	—	—	7,1	4,8	6,0-8,1	7,9	7,7	7,7	7,1-7,8	7,7	—	7,8	
<b>Тяжелые металлы, валовое содержание (мг/кг) на сухое вещество</b>																				
Cd	30	10	26	7	20	30	22	10	12	11	56	8	6	11	11	1,7-3,5	11	—	4	
Ni	400	104	130	33	460	300	130	23	370	52	141	61	180	95	95	17-30	95	—	40	
Pb	500	36	52	57	220	300	86	3	14	50	70	15	8	—	—	75-160	—	—	60	
Cr	1000	380	260	—	1010	1600	—	120	130	180	1550	340	110	570	570	50-200	570	—	100	
Cu	1500	430	445	276	900	720	420	53	700	360	320	—	120	230	230	1300	230	—	240	
Zn	3500	1670	960	—	3500	3500	760	120	1600	740	70	—	180	970	970	600-1000	970	—	1640	

\* Новые осадки

В связи с тем что калий является подвижным элементом, особенно в водной среде, он теряется на всех этапах продвижения и подготовки осадков. Анализы показывают, что по сравнению с конским навозом осадки имеют в 5–10 раз меньше калия. Этот элемент не нормируется, и принято считать, что если обычные осадки используются в агроценозе, то они всегда требуют дополнительного внесения минерального калия.

По регламенту РФ допускается использование осадков при  $pH_{KCl}$  5,5–8,5, т. е. в широком диапазоне. Однако практика показывает, что большинство осадков имеют нейтральную или слабощелочную среду, а реагентные осадки после обработки их CaO имеют pH около 11, поэтому иногда их рассматривают как известковое удобрение. Есть сведения, что такие осадки имеют меньшую биогенность, чем те, которые не проходили обработку. Щелочная среда снижает подвижность в почве тяжелых металлов и поступление их в растения. Влияние тяжелых металлов на урожай возрастает по мере минерализации осадка в почве и увеличивается на второй–третий год последствия.

Содержание тяжелых металлов является одним из важнейших критериев экологической оценки осадков. Учитывают концентрацию в основном наиболее опасных восьми элементов. Предельно допустимое содержание (ПДК) элементов в ОСВ населенных пунктов при утилизации в качестве удобрений по странам и континентам варьирует. Например, концентрация наиболее опасного элемента кадмия составляет для Канады 5 мг/кг, а для США — 17 мг/кг сухого вещества (табл. 1-3); допустимое содержание хрома в осадках для Дании составляет 40 мг, а для США — 1200 мг, т. е. в 30 раз больше.

Для оценки влияния тяжелых металлов (ТМ) в агроценозе, особенно при внесении осадков сточных вод, существует несколько подходов: 1) оценивать влияние ТМ по содержанию валовых форм в осадках и в почве; 2) оценивать влияние ТМ по содержанию подвижных форм элемента, которые извлекаются ацетатно-аммонийным буфером из осадка и из почвы; 3) оценивать влияние осадка по содержанию ТМ в растениях.

На значение этого показателя влияют экономические и технические условия региона, новые научные данные по испытанию осадков и миграции ТМ по трофическим цепям, агротехнические приемы внесения осадков и их утилизации. Например, исследования группы сотрудников ВИУА под руководством проф. Г. Е. Мерзлой в московском регионе позволили разделить осадки Курьяновской станции аэрации на старые и новые в зависимости от срока хранения. При совершенствовании технологии очистки сточных вод, а также

**Таблица 1-3.** Предельно допустимое содержание (ПДК) элементов в ОСВ населенных пунктов при утилизации в качестве удобрений (мг/кг сухого вещества) (2002 г.)

Элемент	Минимальное содержание	Максимальное содержание	Максимальное содержание по Российской Федерации, ГОСТ
Hg	5 Канада	17 США	15
As	10 Нидерланды	75 Канада	20
Cd	5 Германия	30–39 США, Украина	30
Cr	40 Дания	1200 США	1000
Pb	1000 Швейцария	300 Швеция	500

существенного сокращения сброса промышленных загрязнений в канализацию осадки, образовавшиеся в последние годы, отличались по химическому составу от тех, которые образовались десятилетие назад. Прежде всего, новые осадки содержали заметно меньше тяжелых металлов: кадмия, свинца, никеля (Стратегия использования осадков ... 2002). Агроэкологическая оценка показала преимущество нового осадка: прибавка кормовой массы ячменя и ежи сборной при внесении нового 35 т/га составила 153%, а при внесении старого осадка — 72%.

С учетом почвенно-климатических условий допустимое содержание ТМ в осадках может, в отличие от ранее принятых, как снижаться (–), так и повышаться (+). Наиболее убедительно это показано для европейских стран и США в последнее время. С учетом слабой буферности почв, малого содержания в них органического вещества требования к содержанию таких элементов как свинец, хром, медь, цинк были повышены в Германии; напротив, для США, где в сельскохозяйственном производстве в основном используются черноземные почвы, ПДК для таких элементов как кадмий, никель, хром, медь и цинк были увеличены примерно на 30% против принятых ранее (табл. 1-4).

В РФ содержание ТМ в осадках нормируется по I и II группам. Осадки I группы имеют более жесткие ограничения, чем нормативы II группы, которые легко рассчитываются:  $n$  — содержание элемента в I группе  $\times 2$ . Нормативы РФ по содержанию ТМ II группы в основном соответствуют международным стандартам.

Количество городских стоков и осадков сточных вод (ОСВ) постоянно растёт, вместе с этим обостряются проблемы, связанные с их экономически эффективной и экологически безопасной утилизацией. В данном учебном пособии проведен эколого-экономический анализ различных методов утилизации осадков сточных вод с оценкой мировой практики применения этих методов. Предлагаются качественно новые и совершенствуются уже используемые методы очистки стоков, обезвоживания и хранения ОСВ.

На территории России выделяется ряд регионов, где существует реальная угроза ухудшения экологической и санитарно-эпидемиологической обстановки, возникновения чрезвычайных ситуаций из-за аварий в системах городских очистных сооружений, станциях аэрации, прудах-накопителях и т. д. Описаны приемы предотвращения возможного загрязнения почв и иных объектов природной среды.

Для студентов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников в области экологии и почвоведения, работников коммунального хозяйства, а также специалистов ландшафтно-паркового дизайна и газонной индустрии.