

## **Канализационные осадки и стоки**

Данный вид отходов находится в обширных зонах, охватывающих селитебные территории и социальную сферу населения. Естественно, что объектом рассмотрения в главе являются лишь некоторые сегменты отмеченных зон, связанные с образованием канализационных осадков и стоков и обращением с ними.

### **12.1. Осадки**

#### **12.1.1. Состав, количество, направления утилизации**

Осадки сточных вод представляют собой выделенные из последних при их физической, химической, физико-химической, биохимической или комбинированной обработке твердофазные примеси.

В зависимости от типа сооружений, используемых для очистки сточных вод, и способов выделения из них, осадки можно разделить на следующие виды: грубые (отбросы), задерживаемые решетками; тяжелые (песок), улавливаемые песколовками; плавающие (жировые вещества), накапливаемые в отстойниках; взвеси, осаждаемые в первичных отстойниках; активный ил вторичных отстойников (микроорганизмы с адсорбированными и частично окисленными загрязнениями, извлеченными из сточных вод при биохимической очистке); анаэробно сброженные в метатенках; аэробно стабилизированный активный ил или его смесь с осадком из первичных отстойников в сооружениях типа аэротенков; активный ил или осадок в сгустителях или уплотнителях; осадки, обезвоженные на механических аппаратах, подсушенные на иловых площадках или термически высушенные.

Основную часть сухого в осадке первичных отстойников (в среднем 60-75%) и активного ила (порядка 70-75%) составляют органические вещества. Органическая часть активного ила в основном представлена веществами белкового происхождения (до 50%) при содержании жиров и углеводов соответственно до 30 и 10%. В осадке белков примерно в два раза меньше, а углеводов в 2,5-3,0 больше, чем в активном иле.

Следует отметить огромную бактериальную загрязненность осадков. В них имеются кокки, палочки, спириллы. Из патогенных микроорганизмов встречаются возбудители желудочно-кишечных и других заболеваний, большое число яиц гельминтов.

Консистенция осадков городских сточных вод, как и других дисперсных материалов, зависит от их влажности. Первичные и сброженные осадки при величине последней свыше 90% представляют собой жидкую текучую массу, при 86-90% они сметанообразны, при 80-86% — грязеобразны. При более низкой влажности они сохраняют приданную им форму, походя на слегка влажную землю. На сходном уровне происходит изменение консистенции активного ила в зависимости от его влажности.

Столь высокие значения влажности, при которых осадки коммунальных стоков сохраняют приданную им форму, существенно отличают их от других дисперсных материалов, например рудных концентратов. Для последних эти значения обычно не превышают 10-12%. И для тех и для других материалов величины влажности, при которых сохраняется приданная твердому форма, соответствуют их максимальным молекулярным влагоемкостям (подробнее: кн. 1, разд. 5.4.1).

Элементный состав осадков изменяется в широких пределах. В частности, в сухом веществе осадков первичных отстойников содержится, %: 35-88 С; 4,5-8,7 Н; 0,2-2,7 S; 1,8-8 N; 7,6-35,4 O. Сухое вещество активного ила имеет, %: 44-76 С; 5-8 Н; 0,9-2,7 S; 3,3-9,8 N; 12,5-43,2 O (*Туровский*). В осадках присутствуют также соединения кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, цинка, хрома, никеля и др.

Гранулометрический состав свежих осадков первичных отстойников обычно представлен следующими фракциями, %: 5-20 частиц крупнее 10-7 мм, 9-33 размером 7-1 мм, 50-88 менее 1 мм от массы сухого вещества. Сброженный в метатенках осадок по сравнению со свежим мельче и однороднее по структуре. В частности, частицы размером менее 1 мм составляют в среднем 85%. В активном иле эта фракция достигает 98%.

Количество осадков коммунальных сточных вод, по разным данным, составляет, млн т по сухому веществу: по 1,0-1,5 — Великобритания, Франция, Италия; 2,5 — Германия; до 10 — Западная Европа в целом; 1,5 — Япония.

Распределение отходов по направлениям их утилизации в различных странах варьирует. В США оно выглядит следующим образом, %: 36 — удобрения, 16 — сжигание, 10 — вывоз на поля, 38 — в накопителях. Распределение в Западной Европе, %: 33 — удобрения, 15-20 — депонирование, 4-11 — сжигание, до 10 — рекультивация ландшафтов, 1-3 — компостирование. Однако с 2006 г. вступил запрет ЕС на депонирование отходов. Предполагается также внести в директиву 86/278 ЕС по охране ОС изменения, существенно ограничивающие применение осадков СВ и содержащихся в них тяжелых

металлов при использовании в сельском хозяйстве. Таким образом, в Западной Европе доминирующими в ближайшей перспективе становятся термические методы утилизации осадков сточных вод.

В России, по различным оценкам, ежегодно образуется до 2 млрд м<sup>3</sup> осадков с влажностью 96-97%, или порядка 80-100 млн м<sup>3</sup> по сухому веществу. Уровень их использования оценивается в 1,0-1,5% (Протасов).

Автор полагает, что при водопотреблении в России 260 л/сут на одного жителя, населении страны 145 млн человек и содержании в канализационных стоках порядка 0,5% твердого ежегодное количество осадков в пересчете на сухое вещество составляет около 65 млн т.

Технологические схемы очистки СВ и выделения из них осадков в настоящее время реализуются на весьма мощных сооружениях, производительность которых может составлять несколько миллионов кубометров стоков в сутки. Их технологические решения включают, как правило, механическую, биохимическую очистку, доочистку и обезвоживание (Кн. 2, разд. 4.4.1).

## 12.1.2. Области применения

### 12.1.2.1. Сжигание

Для сжигания осадков канализационных (городских) сточных вод применяют главным образом печи с кипящим слоем, а также многоподовые и циклонные (разд. 1.5).

Печи с кипящим слоем за последние 30-40 лет получили наибольшее распространение не только для сжигания, но и сушки осадков. Их широко применяют в США, Германии, Франции, Японии и других странах.

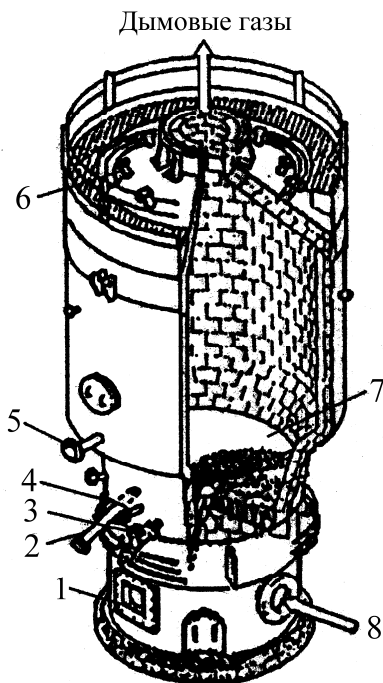
Как известно, при сжигании в этих печах осадки подают в псевдооживленный слой инертного материала (песок с размером частиц 5-1 мм), нагретый до температуры, обеспечивающей воспламенение отходов.

Первый в России и Восточной Европе завод по сжиганию осадков с использованием печи «КС» был сдан в эксплуатацию на центральной станции аэрации (ЦСА) Санкт-Петербурга (1997 г.).

На ЦСА Санкт-Петербурга поступает до 1600 м<sup>3</sup>/сут сточных вод. При их механической и биохимической очистке образуется до 5000 м<sup>3</sup>/сут. осадков с влажностью 95,0-96,6%. Из них одну половину составляют осадки первичных отстойников, а вторую — избыточный ил. После обезвоживания в центрифрессах и предварительного нагрева-

ния до 40-45°C содержание сухого вещества в осадках достигает 35% и их направляют на сжигание в печи «КС» конструкции «Пирофлюид».

«Пирофлюид» (рис. 12.1) имеет цилиндрический корпус с помещенной в него загрузкой (37 т кварцевого песка размером 2,0-2,4 мм). Воздух для псевдоожижения и горения (коэффициент избытка 1,4) предварительно подогревается в трубчатом теплообменнике экономайзера до 500-700°C и подается через патрубки, расположенные по всей поверхности сводчатого пода, которые обеспечивают равномерное распределение дутья. Вертикальная скорость подачи воздуха составляет 0,65-1 м/с. Изнутри печь облицована огнеупорным кирпичом.



**Рис. 12.1. Печь Пирофлюид:**  
1 — горелка для запуска; 2 — опорожнение песка; 3 — сжигаемый осадок; 4 — дополнительное горючее; 5 — вторичный воздух; 6 — впрыскивание воды; 7 — слой песка; 8 — воздух для сжигания

Дымовые газы

Обезвоженный осадок на выходе из центрипрессов забирается поршневыми насосами высокого давления и через инжекторы вводится в раскаленный слой песка, в котором воспламеняется. Его сгорание повышает температуру в верхней части печи до 850°C. Пребывание осадка в ней в течение 5 с достаточно для полного сгорания его органики: в золе остается менее 1% горючих веществ. Газы, покидающие печь при 850-870°C, поступают в теплообменники для подогрева воздуха (КПД утилизации тепла около 25%). Затем они направляются в к/у для выработки пара (КПД утилизации порядка 65%) и далее с температурой 250-300°C подаются на газоочистку.

Работа печи «Пирофлюид» полностью автоматизирована, постоянный контроль и поддержание температуры в ней осуществляются регулированием ввода осадка, подачи дополнительного топлива, температуры предварительного подогрева и расхода воздуха для горения.

На ЦСА установлены четыре печи диаметром 6,7 м, которые обрабатывают 2,5-2,8 т/ч сухого вещества каждая (Гумен...)

Дымовые газы сжигания содержат золу-унос, соединения тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb и др.), кислотные газы (HCl, HF, SO<sub>2</sub>). Для их очистки используют многоступенчатую систему. Вначале они освобождаются от пыли в электрофильтре, где задерживается 92-99% золы-уноса, частиц тяжелых металлов. Далее газы охлаждаются с 250-300 до 80°C в кислой водной среде (рН 2-3) колонны Вентури. Здесь же улавливаются кислотные примеси (HCl, HF), остаток золы-уноса и возгоны тяжелых металлов. Промывная вода циркулирует в замкнутом контуре. Лишь небольшая ее часть после нейтрализации удаляется в канализацию и поступает в голову очистных сооружений. Затем газы направляют в промывную колонну с щелочным раствором, где улавливается сернистый ангидрид (оксиды азота при сжигании практически не образуются вследствие низкой температуры этого процесса). Щелочность раствора поддерживается добавлением свежих порций NaOH.

Принятая схема газоочистки удовлетворяет наиболее жестким российским и европейским требованиям к выбросам загрязняющих веществ (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Содержание загрязняющих веществ, мкг/нм<sup>3</sup>, в отходящих газах печи «КС» при сжигании осадков ЦСА г. Санкт-Петербурга (Кармазинов...)

Загрязнитель	Дир-ва 2000/ 76/ЕС	Фактически	Загрязнитель	Дир-ва 2000/ 76/ЕС	Фактически
SO <sub>2</sub>	50	0,15-0,22	Ni	0,5	0,00089
HCl	10	0,20-0,25	Pb	0,5	0,0022
HF	1	0,10-0,15	Cr	0,5	0,0022
NO <sub>x</sub>	200	2,5-3,7	Cu	0,5	0,0038
Взвешенные в-ва	10	2-3	Mn	0,5	0,0036
Hg	0,05	0,000025	Диокс. и фур <sub>3</sub>	0,1	0,017
Cd	0,05	0,0011	нг/нм <sup>3</sup>		

Технология предусматривает использование вторичных ресурсов, образующихся при сгорании осадка бытовых стоков.

Так, подлежит утилизации зола (50-70 м<sup>3</sup>/сут.). В настоящее время в количестве 30 т/сут. ее применяют при производстве кирпича на НПО «Керамика». После завершения рекультивации полигона планируют

ется также направление ее на производство других строительных материалов. Этому способствует крупность (средний размер частиц 0,35 мм) и состав золы, %: 50-54 SiO<sub>2</sub>, 8-11 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 15-17 CaO, 6-7 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Пар к/у полностью обеспечивает производственные и бытовые помещения ЦСА отоплением и горячим водоснабжением, используется для снабжения внешних потребителей.

Технология подготовки и сжигания осадка ЦСА г. Санкт-Петербурга в значительной степени воспроизводит применяемые в других странах, например на крупнейшем в мире заводе в Дордрехте (Нидерланды) производительностью 90 тыс. т/год по сухому веществу (Schlammverbrennungsanlage...).

В схемах некоторых других зарубежных заводов имеются отличия, касающиеся отдельных технологических операций.

Так, например, на заводе фирмы Hoechst (Германия) сжигание в «КС» реализуют в две стадии, с организацией первичной и вторичной зон горения. В первичной сжигание осуществляют с коэффициентом  $\alpha$  избытка воздуха, меньшим единицы. Это приводит к сгоранию топлива преимущественно до оксида углерода, снижению максимальной температуры и содержания кислорода в ядре факела, увеличению его длины, уменьшению скорости образования NO<sub>x</sub>. Дополнительное количество воздуха для достижения общего значения  $\alpha > 1$  подают во вторичную зону, дожигая в ней СО до диоксида углерода. Однако этот процесс вследствие разбавления продуктами горения из первичной зоны осуществляется при более низких, чем при одностадийном сжигании, температурах, что обеспечивает общее уменьшение выбросов NO<sub>x</sub>.

Иногда в печь «КС» дозируют оксид кальция для связывания SO<sub>2</sub>, с той же целью в поток отходящих газов могут впрыскивать смесь активированного угля и извести.

Разработан способ сжигания осадков при сверхзвуковой скорости подачи кислорода в печь «КС». Как следствие, ее производительность увеличивается на 40%, удельные расходы природного газа и воздушного дутья снижаются соответственно на 35 и 15%. Сокращаются также выбросы CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> в атмосферу (Sauerstoff...; O<sub>2</sub> injection...).

Технология сжигания при 1000-1200°C активного ила и осадков очистных сооружений в топке с «КС», внедренная в Токио (Япония), предусматривает использование пара теплоагрегатов для выработки электроэнергии (When...; Mc Cann).

*Многоподовые печи* для сжигания городских осадков рассмотрены ранее (рис. 1.2). Они используются в Германии, ЮАР и других странах. В частности, длительное время хорошо известный завод по сжиганию городских осадков с использованием четырех многоподовых печей работает на

очистной станции г. Франкфурта-на-Майне (Германия). Производительность каждой из четырех технологических линий составляет 2 т/ч.

В согласии с принятой технологической схемой осадок первичных отстойников и избыточный активный ил после уплотнения в радиальных отстойниках до 3-4% твердого поступают в подогреватель. Здесь они нагреваются до 60°C теплом от котла с масляным теплоносителем (см. ниже). Подогрев облегчает обезвоживание осадка в центрифугах и позволяет сократить при этом расход флокулянта до 50%. Обезвоженные до 25-30% осадки подвергаются предварительной сушке и сжигаются.

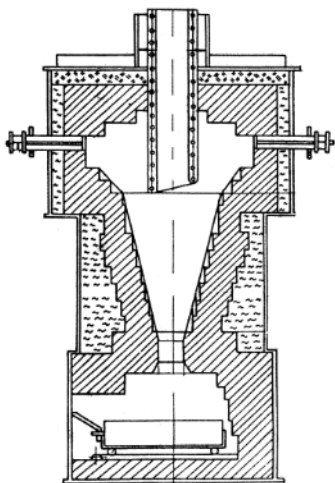
Две последние, и важнейшие, операции проводятся в одном комбинированном агрегате. В нем многоподовая сушилка (верхняя часть агрегата) совмещена с зоной кипящего слоя для сжигания осадков (в нижней части). Отходящие газы (850°C) утилизируются в котле с масляным теплоносителем. Далее они с температурой 180°C поступают в электрофильтр и затем в мокрый скруббер. После него их подогревают от 40 до 105°C, что облегчает выброс газов из дымовой трубы: увеличивается разность плотностей последних и атмосферного воздуха.

Печи циклонного типа используются на некоторых зарубежных очистных станциях для сжигания термически высушенных пылевидных осадков. Сушка осадков осуществляется за счет теплоты отходящих газов этих печей.

В нашей стране технологическая линия по сжиганию осадков и илов биохимических очистных сооружений действует на опытно-производственной базе НПО «Техэнергохимпром», расположенной на территории очистных сооружений г. Орехово-Зуева (Бернадинер...).

Линия производительностью 150 кг/ч по твердым и пастообразным материалам включает приемные и расходные контейнеры отходов, кольцевой циклонный реактор с верхним выходом дымовых газов через водоохлаждаемую вставку, полый испарительный скруббер и тканевый фильтр.

Отходы из скруббера питателем подаются в воздушное сопло циклонного кольцевого реактора (рис. 12.2), расположенное под углом к тангенциальному



**Рис. 12.2. Циклонный кольцевой реактор для обезвреживания высушенных осадков и илов биологических очистных сооружений**

потоку высокотемпературных продуктов сгорания природного газа. В кольцевом пространстве между ограждением печи и водоохлаждаемой вставкой органическая часть отходов сгорает, а минеральная выводится частично в виде твердого шлака через воронку реактора, частично с дымовыми газами как пыль.

При легкоплавкой минеральной составляющей в отходах циклонный реактор эксплуатируется в режиме жидкого шлакоудаления.

С 80-х гг. 20 в. получило развитие применение коммунальных осадков и ила в качестве добавки к пылеугольному топливу. В частности, в г. Люнене (Германия) построена энергетическая установка, на которой предусмотрено введение коммунального шлама в уголь, обезвоживание и сушка полученной смеси с ее применением в качестве топлива (теплотворная способность 4400 кДж/кг). При годовом расходе последнего 240 тыс. т получают 37 МВ энергии перегретого пара, которая используется в паровых турбинах. На собственные нужды установки расходуется 25% получаемой электроэнергии, остальное передается соседним предприятиям (Low-cost...).

Однако стремление повысить эффективность переработки осадков диктует необходимость увеличения единичной мощности применяемых для сжигания агрегатов.

Одним из возможных решений здесь является интеграция ресурсов осадков отдельных очистных сооружений. Так, во Франции образовано объединение 104 муниципальных управлений, строящее сооружения кооперативного пользования (Mogier...).

Другое решение заключается в утилизации осадков как добавки к пылеуглю на современных крупных электростанциях.

Установлено, что существующие энергетические установки (КС, многоподовые, колосниковые), работающие на угле, без дополнительных капитальных вложений и конструктивных изменений легко справляются с введением в него 5% осадков, предварительно обезвоженных до менее чем 60%. При этом стоимость сжигания 1 т осадка составляет лишь 17 марок против 95 на специализированной установке (Корр...).

Для повышения эффективности очистки отходящих газов совместного сжигания пылеугля и осадков практикуется впрыск бурогоугольного кокса в электрофильтры и использование угольных адсорберов. В данной схеме степень улавливания столь опасного загрязнителя, как ртуть, увеличивается до 75-85% (Wirling...).

### 12.1.2.2. Производство биогаза

Биогаз при обращении с коммунальными отходами выделяется при сбраживании осадков первичных отстойников и избыточного активного ила в метатенках при термофильном режиме его реализации.

Биогаз на станциях аэрации г. Москвы направляется для получения пара в котлах ДКВР-10-13, оборудованных горелками для природного газа и биогаза. Около 75% пара расходуется для нагревания метатенков, остальное — для отопления помещений и получения горячей воды в бойлерах.

Метатенки эксплуатируются и в других городах, однако газ не используется вовсе или утилизируется частично. Таким образом, отечественные масштабы эффективной эксплуатации этих сооружений явно недостаточны. Вместе с тем при сбраживании только половины образующихся осадков можно получить 350 млн м<sup>3</sup>/год биогаза, или 0,3 млн т условного топлива, на 40-50% сократить теплоэнергетические расходы на очистные сооружения в целом.

Для сокращения затрат, увеличения степени стабилизации осадка и выхода биогаза применяют различные методы интенсификации работы метатенков: повышение концентрации загрузки и биомассы микроорганизмов, термолиз, метод кавитации и др.

Для увеличения концентрации загрузки (осадка) используют гравитационное уплотнение, флотацию и центробежное разделение.

Повышения биомассы микроорганизмов в метатенке можно достичь за счет ее выраживания с прикреплением к заполняющему часть объема сооружения инертному пористому носителю (полиуретан, различные виды пластмассовых сеток, труб, керамзит и др.). Количество биомассы и ее активность в таких метатенках по сравнению с традиционными увеличивается в 2-3 раза. Соответственно снижаются необходимая продолжительность сбраживания (до 1-2 сут.) и объем метатенков, повышается выход биогаза.

Одной из разновидностей интенсивного процесса сбраживания является его разделение на фазы гидролиза и метанообразования (с использованием принципа прикрепления метановых бактерий).

Термогидролиз (ТГ) осадка водоочистных сооружений разработан и с 1993 г. эксплуатируется фирмой «Самби АS» (Осло, Норвегия). Термогидролиз шлама после его обезвоживания и гомогенизации достигается ступенчатой обработкой паром высокого давления с последующим охлаждением и выдержкой для стабилизации. Гидролиз материала увеличивает количество доступных к разложению веществ для производства биогаза.

После ТГ осадок анаэробно сбраживается и сушится. При этом его объем сокращается на 50% по сравнению с первоначальным, выход метана возрастает в два раза по отношению к традиционному сбраживанию. Производительность установки составляет 4 тыс. т/год по сухому веществу (Thermal...).

В Великобритании проведена реконструкция системы водоочистки на вдвое большую, чем у норвежской фирмы, производительность. Шлам обрабатывается острым паром с температурой 160-180°C и давлением 6,3-10,2 кг/см<sup>2</sup>, затем отправляется на анаэробное сбраживание. Производительность последнего увеличивается в два, а выход биогаза в три раза. Содержание твердого в осадке возрастает с 6 до 12% (Sludge...).

Сущность *кавитации* как метода интенсификации процессов анаэробного сбраживания и повышения выхода биогаза заключается в образовании в быстро движущейся жидкости пузырьков или полостей, заполненных газом, паром или их смесью, при сбросе давления. Их последующее резкое схлопывание ведет к разрушению твердой фазы, оказавшейся внутри парогазовых каверн. При этом дезинтегрируются как хлопья, так и бактериальные клетки. Кавитация возникает, например, при эжекции осадков с концентрациями 80 г/л через сопло диаметром 0,3 мм при давлении 150 бар. В результате эффективность деструкции органической составляющей может достигать 60%, выход биогаза увеличивается на 30% (Kolb; Onyechе).

Современные технологии станций аэрации предусматривают утилизацию теплоты процесса анаэробного сбраживания осадка. Так, на Курьяновской станции Москвы в отдельном здании установлен спиральный теплообменник (свернутый пожарный рукав диаметром 10,9 м). Он состоит из двух блоков двухканальной спирали общей длиной 630 м, по которой противотоком движутся горячий (сброженный) и холодный (нагреваемый) осадки. Температура последнего на входе в теплообменник 20-26°C, на выходе из него 38-40°C при температуре сброженного шлама после выхода из аппарата 32-34°C. Подогретый осадок направляют на сбраживание. Мероприятие за 9 мес. 1996 г. позволило сэкономить 10,5 тыс. Гкал (Рекуперация...).

Исследования последних лет показали, что в биогаз метантенков наряду с его целевыми горючими составляющими (метан и другие углеводороды) переходит ряд сильных загрязнителей окружающей среды. Так, при мезофильно-термофильном сбраживании осадков на станции биологической очистки коммунальных (60%) и производственных стоков в проанализированных пробах газовой фазы метантенков выявлено 1-100 мкг/м<sup>3</sup> мышьяка и сурьмы, по 10-1000 мг/м<sup>3</sup> ртути, теллура, свинца, олова. Эти металлы в основном представлены ди-три- и тетраметилрованными соединениями, типичными для процесса гниения

органики. Выявленные концентрации многократно превышают ПДК рассматриваемых соединений. В частности, российские ПДК ртути, теллура, свинца и олова составляют 0,0003-0,05 мг/м<sup>3</sup>.

По данным отечественных исследований, характер загрязнений определяется наличием аммиака и сероводорода. Их концентрации, превышающие ПДК, при неблагоприятных метеоусловиях регистрируются на расстоянии 300-500 м от станции аэрации и до 500 м от иловых площадок (Сооружения...).

Полученные результаты требуют переосмысления условий утилизации биогаза в качестве возобновляемого топлива (Feldmann...).

Обработка осадков в метатенках предопределяет периодическое удаление сброженной массы и приросшего ила с целью их депонирования или утилизации. В связи с этим возникает необходимость прекращения дальнейшего газообразования, иначе размещение осадков на городских свалках вызовет серьезные проблемы. Для прекращения сбраживания загрузки метатенка подается в аэробный реактор. Здесь под воздействием кислорода активность метаногенных микроорганизмов подавляется. Затем осадок обрабатывают на фильтр-прессах и загружают в транспортные контейнеры для доставки к месту назначения (Steiner).

В общем случае источником материалов для сбраживания, помимо осадков СВ, служат отходы сельского хозяйства, пищевой промышленности, бытовые отходы и др. В Европе эксплуатируется около 3000 метатенков, из них 2000 в ФРГ. Из энергетический потенциал при использовании биогаза на специальных теплоэлектроцентралях 40 ГВт·ч/год по электричеству и 50 ГВт·ч по теплу (Lukachander).

### 12.1.2.3. Сельское хозяйство

Осадки бытовых сточных вод городов и других населенных пунктов представляют собой удобрение, содержащее биогенные элементы (азот, фосфор, калий, их соединения), а также необходимые для развития растений микроэлементы. При этом наиболее ценным органическим удобрением, особенно богатым азотом и фосфором, является активный ил.

Перед использованием в качестве удобрения осадки обезвоживают и обеззараживают.

Обезвоживание выполняют механическими средствами (на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах) и на иловых площадках.

Для обеззараживания применяются: термическая сушка (при 80°C); трехсуточная тепловая обработка при 55°C; компостирование при 55°C в течение 15 суток; анаэробное сбраживание при 35°C; щелочная обработка 72 ч при рН 12 и температуре 50°C

(Walsh). Наиболее эффективное обеззараживание механически обезвоженных осадков достигается их термической сушкой.

Различают прямую (топочными газами, горячим воздухом, перегретым паром) и непрямую (через поверхность теплообмена) сушку.

Прямая сушка преобладает и осуществляется в агрегатах различных типов, например барабанных (диам. 1,0-3,5 м; длина 4-27 м; прямое движение материала и сушильного агента), кипящего (с механическим перемешиванием), виброкипящего и фонтанирующего слоя, комбинированных.

Для уничтожения дурнопахнущих выбросов при сушке осадков сточных вод часто этой операции предшествует введение в них дезодорирующих добавок. Ими могут служить, в частности, измельченный активированный мягкий бурый уголь и/или хлористый калий в количестве соответственно 0,1-0,4 и/или 0,1-0,25 частей на единицу массы сухого вещества отхода (Заявка 4142253 ФРГ).

Для устранения неприятных запахов применяют также предварительное известкование сброженного осадка перед обезвоживанием, в частности центрифугированием. Добавки извести не только подавляют запахи, но и уничтожают патогены за счет роста температуры массы до 50-55°C, а также повышают производительность центрифуг в 1,5-2,0 раза (метод N-Viro-Soil). Аналогичный эффект достигается при смешении уже обезвоженного осадка с известью (Christy...).

Такие же эффекты дезодорации получают, применяя смесь карбида кальция ( $\text{CaC}_2$ ) и извести (Manchak...).

Осадок после термической сушки представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов сыпучий материал влажностью 20-50%. Он удобен для транспортирования и внесения в почву. Однако для исключения пыления его рекомендуется гранулировать.

В СССР были разработаны «Временные технические условия на термически высушенные осадки». Они, в целях предотвращения накопления токсикантов в почве и растениях, рекомендовали вносить осадки один раз в 5 лет. Предусматривалось, что их дозы должны составлять 10-40 т/га по осадку с влажностью 50%, или 5-20 т/га — по абсолютно сухому веществу.

В г. Орехово-Зуево в 1973 г. был сдан в эксплуатацию цех сухого удобрения, построенный на базе очистных сооружений с мощностью по биохимической очистке, равной 160 тыс. м<sup>3</sup>/сут. сточных вод.

В сравнении с термическими способами обеззараживание осадков сточных вод в естественных условиях на иловых картах менее предпочтительно. Оно длительно (не менее 3,5 лет с момента последней

заливки). Кроме того, распределение такого осадка (влажность 75-80%) по удобряемым участкам вызывает значительные трудности.

Новым методом обеззараживания с использованием солнечной энергии является сушка осадка в теплицах, с 1994 г. применяемая в Германии. Предварительно обезвоженный шлам равномерно распределяется по поверхности теплицы (ширина 8-10 м) и перемещается вдоль нее с помощью автоматического агрегата непрерывного ворошения и продольного перемещения осадка по фронту, равному рабочей ширине теплицы. Конечная влажность материала близка к 10%. По испаряемой влаге удельная производительность составляет 700-800 кг/м<sup>2</sup> теплицы при расходе электроэнергии 20 кВт·ч/т и себестоимости 100-180 марок за 1 т (Schlammtrocknung...).

Наряду с обеззараживанием термическим и на иловых площадках за рубежом применяют ионизирующее излучение (компания «Сандия Иррадпатор фор Драйд Сэвэдж», США, 1979 г.). Осадки обеззараживаются в подземном помещении в контейнерах из нержавеющей стали. Источником гамма-излучения служит цезий-137 (доза 1 МКu). В результате погибают все патогенные микроорганизмы, при этом питательные вещества шламов сохраняются. Общая стоимость обработки 1 т сухого или комбинированного осадка не превышала 9 дол.

До недавнего времени после обезвоживания и обеззараживания осадки бытовых сточных вод вывозили на сельскохозяйственные поля.

За рубежом их агрономическое применение относилось к старейшим и наиболее распространенным видам утилизации.

Так, в ФРГ при использовании осадков как удобрения на пахотных землях практиковалось их норма 5 т/га в год, а на лугопастбищных полях — 2,5 т/га (в расчете на сухое вещество). Опыт совместного внесения минеральных удобрений с осадками сточных вод показывает при этом значительное повышение урожайности сахарной свеклы, пшеницы, овса, ржи по сравнению с введением в почву только минеральных удобрений.

В Австралии (г. Аделаида) осадки из очистных станций аэрации применяют как удобрение для садовых и огородных участков, расположенных на песчаных почвах. Их внесение до 24 т/га по сухому остатку повышает урожай овощных культур в теплицах и открытом грунте, улучшает структуру почвы.

Недавние опыты польских специалистов показали, что при ежегодном введении в почву оптимальных количеств осадков, чаще всего избыточного активного ила, урожайность травяных культур возрастала на ~30, а риса на 18% (*Folia...*).

Известны технологии компостирования канализационных осадков: в смеси с известью при 40-55°C в течение 4 сут. в щелочной среде и в

грунтовых канавах при 15-25°C и рН 5,5-8,5. Полученный продукт использовали для удобрения почв (Ware...; Clark; Folia).

Преимущественное применение осадков городских сточных вод в качестве удобрения имело место и в других странах (Франция, Канада, Великобритания, Финляндия, Япония и т.д.).

Осадки можно также перерабатывать с целью получения заменителей грунта. Для этого их размещают на площадках, засаженных камышом, другими видами высшей водной растительности и снабженных системами дренажа, отделения сточных вод и их отвода на очистные сооружения. Процесс переработки в зависимости от конкретных условий длится до 6 лет и более. Получаемый материал по качеству не уступает естественным почвам, отличается физической и химической стабильностью и может быть использован при рекультивации земель в садоводческих хозяйствах и т.п. (Klärschlammverbrennung...).

В СССР осадки коммунальных сточных вод с успехом применяли в сельском хозяйстве вплоть до 90-х гг. 20 в.

Так, внесение в почву термически высушенного осадка (ТВО) цеха сухого удобрения очистных сооружений г. Орехово-Зуева в количестве 30-40 т/га повышало урожай озимой пшеницы с 3,9 до 33,3 ц/га на торфокарьерных почвах верхового типа. Ряд колхозов и совхозов Московской области при использовании осадков как удобрения увеличивал урожайность сельскохозяйственных культур в 1,5-2,0 раза. При этом наблюдалось улучшение структуры почв (Евлевич...).

По данным Запорожской государственной сельскохозяйственной станции, внесение сухого осадка сточных вод в почву в количестве 30 т/га при выращивании зеленой массы люцерны дало прибавку к урожаю 27% (Дрозд...).

Более 15 лет садово-парковое управление г. Москвы широко применяло сброженный осадок влажностью 80%, вывезенный с иловых площадок: 40-80 т/га под многолетние и однолетние культуры, 100-200 т/га при закладке газонов.

Исследования с двумя видами осадков СВ Курьяновской станции аэрации г. Москвы — свежим с фильтр-прессов и после длительного хранения на иловых площадках (соответственно 10 и 35 т/га) — показали возможность их использования в качестве удобрения на дерново-подзолистой суглинистой почве. Наибольший эффект получен от осадка с фильтр-прессов. В дозе 35 т/га сухой массы он обеспечил повышение урожайности многолетних злаковых трав в два раза по сравнению с контролем без удобрений (Чехарин).

Термически высушенные известьсодержащие осадки оказались эффективны для раскисления почв. Так, на участках освоения бывших торфяных карьеров при внесении ТВО последовательно увеличиваю-

щимися дозами до 80 т/га при влажности 50% реакция среды в почве в течение года изменялась от рН 2,7-3,3 до нейтральной. Аналогичные примеры наблюдались и на других не столь кислых почвах при меньших дозах ТВО (Евилевич...).

В некоторых южных районах страны сброшенные осадки, подсушенные на иловых площадках, применяли для удобрения виноградников, чайных плантаций.

Тем не менее основная масса осадков очистных сооружений страны не утилизировалась. Более того. В начале 90-х гг. 20 в. в России было законодательно запрещено использование городских сточных вод в качестве удобрений в сельском хозяйстве. Причиной оказалось возрастание в осадках количеств тяжелых металлов и их соединений, в том числе предусмотренных СанПиН 2.1.7.753-96 (мг/кг): 1000/100 Рb, 20 As, 15 Hg, 30 Cd, 400/100 Ni, 1200/300 Cr, 2000 Mn, 4000/1500 Zn, 1500/600 Cu (в знаменателе цифры ЕС).

Источником загрязнения осадков тяжелыми металлами служат сточные воды промышленных предприятий, поступающие в общегородскую канализационную сеть. При использовании осадков как удобрений загрязнители накапливаются в зеленой массе растений в концентрациях, значительно превышающих ПДК этих соединений в кормах для скота и птицы (Ларионов).

Проблема загрязнения пищевой продукции, получаемой с применением отходов водоотведения, в нашей стране усугубляется невысокой культурой (профессионализмом) производства как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. Имеется в виду недостаточная степень очистки сточных вод, неразвитость систем замкнутого водоснабжения, неравномерность внесения осадков на поля, отсутствие методик экономической оценки технологий использования на основе осадков СВ и т.д. Полагают, что применение таких удобрений является экологически наиболее опасным (Лазарев...).

#### **12.1.2.4. Другие отрасли и стоимость обработки осадков**

Наряду с рассмотренными в предыдущих разделах основными областями применения канализационных осадков (сжигание, получение биогаза, сельскохозяйственное производство) известны и другие.

Уже отмечалось, что использованию компостов в сельском хозяйстве препятствует наличие в осадках солей тяжелых металлов. В этом случае альтернативной может выступать их утилизация в качестве материалов для рекультивации полигонов захоронения твердых бытовых и промышленных отходов. Такая технология, разработанная Самарской государственной архитектурно-строительной академией, апробирована на канали-

зационных осадках ряда городов России и реализована в проектах захоронения ТБО и промышленных отходов Самарской области.

Причина повышенного интереса к такому использованию осадков объясняется тем, что в данном случае природных грунтов в местах складирования твердых бытовых отходов недостаточно, особенно на полигонах, устраиваемых в отработанных карьерах, где уже имеется котлован и грунт для пересыпки ТБО отсутствует. Его бы пришлось доставлять из карьеров, расположенных на значительных расстояниях от полигона, существенно увеличивая транспортные расходы. Кроме того, следует учитывать, что добыча грунта требует разработки карьера, площадь которого равна приблизительно 40% площади полигонов.

Объем отходов, размещаемых на последних, колеблется от 80 тыс. до 1,6 млн м<sup>3</sup>, при этом объем грунта для изоляции материалов составляет ~0,2-0,3 полезной вместимости сооружения. Однако на 15-40% карьерная масса может быть заменена осадками канализационного хозяйства. Предварительные расчеты показывают, что такое техническое решение позволяет снизить капитальные затраты по сооружению полигонов примерно в 1,2 раза (Утилизация... 2001 г.)

Другое направление использования шламов канализации — их грануляция с последующим применением в различных областях, например при производстве строительных материалов, в качестве загрузки для биофильтров. В первом случае для этого пригоден осадок, обезвоженный и затем окомкованный в частицы диаметром 4-12 мм (Botrill), во втором — гранулы размером 0,1-15 мм (Jan...).

В качестве компонента в дорожном строительстве и заполнителя горных выработок предлагается смесь шлама водоочистных сооружений, золы и негашеной извести, взятых приблизительно в равных количествах. За счет гашения извести водой осадка, сопровождаемого выделением тепла, температура массы повышается до 70-90°C и находится на этом уровне 0,5-2,0 ч. Данных условий оказывается достаточно для обезвреживания содержащихся в шламе бактерий, вирусов с использованием полученного продукта по его назначению (Burns...).

Предлагается также смесь шлама с известью после сушки нагревать до 400-500°C, при которой она дегазируется. Затем спек размальвывается с выдачей дисперсного материала с размером частиц 100-5 мкм и содержанием органики 10-40%. Порошок применяют как наполнитель асфальта. Выделяющийся при нагревании смеси газ сжигают (Hinger).

Известна технология утилизации иловых карт как компонента шихт (3% от их массы) для производства керамзита. Полученный продукт отвечает требованиям ГОСТ 9757-90 «Гравий, щебень и песок — искусственные пористые. Технические условия».

Избыточный активный ил предложено использовать для получения активированного угля, обрабатывая его парами серной кислоты при 700°C (Towards...).

Шлам очистных сооружений в количестве 5-10% по сухой массе может быть использован как связующее при окомковании некоторых металлургических шихт (Способ... 2001).

Известно также использование осадков очистных сооружений для получения дизельного топлива (процесс Enersludge). Соответствующая установка производительностью 30 т/сут. была введена в действие в Перте, Австралия (Mc Cann).

Установка конверсии шлама в жидкое топливо продемонстрирована и в Германии. В данном случае шлам подсушивается солнечной сушилкой, а затем в термокаталитическом реакторе преобразуется в жидкое топливо: 50 тыс. л из 600 т шлама (Erneuerbare...).

Сравнительных данных по стоимости утилизации осадков немного. Некоторое представление об этом дают более 4 тыс. ответов руководства очистных сооружений на территории Германии и данные Bode Н.К.А. (в скобках). В соответствии с ними она составляла, немецких марок/т осадков (сухое вещество):

размещение на ландшафте — 13;

компостирование — 304 (540);

сжигание — 763 (760);

депонирование — 417;

сельскохозяйственное использование — 480;

суммарные расходы на удаление и обработку осадков в 1996 г. были оценены в 1,2 млрд марок (Klärschmumfrage...).

## 12.2. Сточные коммунальные воды

Данный вид коммунальных отходов, в отличие от осадков сточных вод, имеет более ограниченные области применения. Их направляют главным образом для орошения при выращивании сельскохозяйственных культур, полива зеленых насаждений, в прудовых хозяйствах и т.п.

Реиспользование сточных вод в земледелии и аквакультуре получило распространение за рубежом, особенно в аридных (засушливых) и субаридных зонах. Это позволяет экономить водные ресурсы, минеральные и органические удобрения, увеличить производство продуктов питания.

Основное направление утилизации сточных вод — орошение сельскохозяйственных земель.

Существует множество систем почвенного применения СВ, размером от нескольких до десятков тысяч гектаров. Например, в Индии

сотни таких систем в 70-80-е гг. 20 в. занимали 73 тыс. га, а в США их число превышало 3400. Самая крупная система орошения водами создана в Мексике. Так, большая часть стоков Мехико используется для ирригации 80 тыс. га земли, занятой главным образом люцерной, маисом, ячменем и овсом. Одновременно практика выявила и обусловила запрет на применение СВ при выращивании салата, капусты, свеклы, редиса, моркови, шпината, петрушки. На небольшой площади разрешено возделывать томаты и перец. Система удовлетворительно действует более 40 лет.

В ряде стран (Израиль, Иордания, Перу, Саудовская Аравия) направление сточных вод на орошение является государственной политикой. Так, в Израиле установлено несколько сотен бассейнов и резервуаров для сбора и повторного использования очищенных СВ, объем которых в 2000 г. должен был превысить 300 млн м<sup>3</sup>/год. Резервуары имеют глубину 6-15 м и объем от 50 тыс. до 6 млн м<sup>3</sup>. В этой стране утилизируется более 70% всего городского стока (*Door J....*).

Определенное развитие орошение сточными водами получило и в нашей стране.

В Московской области на сельскохозяйственных полях ими еще в 70-80-е гг. 20 в. орошалось 5 тыс. га, в том числе только в совхозе «Ногинский» свыше 1 тыс. га. При этом использовались смешанные сточные воды: 60% — производственные Обуховского ковровосуконного комбината и 40% — бытовые поселка Обухово после механической очистки. Ежесуточный их приток составлял 4000-5000 м<sup>3</sup> при непрерывной подаче на поля в течение всего года. На них выращивали в основном многолетние травы, которые расходовали в период выпаса скота, а также для приготовления сенажа, травяной муки. Оросительная норма колебалась при этом от 3000 до 6600 м<sup>3</sup>/га за год. За пастбищный сезон проводилось 6-7 поливов, осуществляемых напуском по бороздам, склонам и дождеванием. Опыт показал, что при круглогодичном использовании СВ на орошение культурных пастбищ достигается высокая степень их очистки: БПК<sub>5</sub> снижается со 195 до 14 мг/л, а количество кишечных палочек — с 5550 до 20 (*Водоотведение...*). Кроме того, повышались урожайность и питательная ценность выращиваемых многолетних трав.

Длительный опыт орошения последних городскими сточными водами накоплен в Алтайском крае (г. Алейск, 1989-1999 гг.). Режим орошения был сравним с применяемым для чистой воды и осуществлялся по водопотреблению культур (норма 3000 м<sup>3</sup>/га). Была выявлена необходимость подачи, наряду со стоками, полного комплекса минеральных удобрений. Оптимальный режим орошения сточными водами города позволил получить в условиях Западной Сибири 5-6 т зеленой

массы злаковых трав с 1 га, отвечающих требованиям по качеству (*Коммунальные...*).

Другим способом использования очищенных СВ является полив ими зеленых насаждений. Он широко распространен в США, Латинской Америке, Австралии, средиземноморских и арабских странах, Северной Африке для парков, уличных газонов, игровых площадок для гольфа, придорожных зеленых полос и т.п. Его осуществляют с помощью сети трубопроводов, автоцистернами, поливочными машинами.

Сточные воды могут применяться и в прудовых хозяйствах. Так, выращивание рыбы и водных растений в прудах, удобряемых стоками и экскрементами, широко практикуется, особенно в Азии. Например, в Индии в 80-х гг. 20 в. имелось более 130 систем рыбоводных прудов, использующих такие отходы, общей площадью около 12000 га. В частности, в Калькутте расположена самая большая в мире (4400 га) система, в которую поступают неочищенные СВ и ливневый сток. В прудах разводят карпа и тилapia, достигающих товарной массы в течение 5-6 мес. Продуктивность прудов — более 1000 кг/га. При этом наблюдается снижение общего числа патогенов в них. Вместе с фактом тепловой обработки рыбы перед употреблением в пищу это снижает потенциальный риск для здоровья потребителей.

В Мюнхене (Германия) почти 75% отстоянных стоков очищается в рыбоводных прудах. Система насчитывает 30 больших прудов общей площадью 230 га и периодом водообмена около 40 ч. Более мелкие дополнительные используются для разведения рыбы, нагула, зимовки и сохранения перед продажей. Сточные воды аэрируются и разбавляются в 4 раза и более речной водой.

В Южно-Африканской Республике стоки поступают не только на орошение и в аквакультуру, но и на промышленные нужды (*Охрана...*).

Сточные воды обычно имеют высокую концентрацию выделяемых с экскрементами патогенов. Так, кишечные паразиты (вирусы, бактерии, простейшие и гельминты) содержатся в них в концентрациях от  $10^2$  до  $10^{11}$  на 1 л.

Наиболее опасны при использовании СВ на орошение гельминты, наименее — вирусы. Риск заболеваний, вызываемый бактериями и простейшими, имеет промежуточный характер.

Сточные воды содержат и химические загрязнители, если в них поступает промышленный сброс. В эту категорию прежде всего попадают тяжелые металлы и нерасщепляющаяся органика.

Экспертами Всемирной организации здравоохранения в 1989 г. разработаны показатели качества СВ для орошения (табл. 12.2). Они требуют снижения числа яиц гельминтов в сточных водах до 1 и менее

на 1 л. Это означает, что около 99,9% их должно быть удалено во время предварительной подготовки стоков.

Бактериальный норматив (100 ФКФ на 1000 мл) безопасен для свободного полива любых растений. Естественная гибель патогенов на полях представляет собой дополнительный фактор снижения потенциального риска для здоровья. Патогены инактивируются УФ-лучами, высушиванием и естественными организмами-хищниками. Это обеспечивает через несколько дней после полива дополнительное удаление 99% патогенов.

Таблица 12.2

Микробиологические и паразитологические показатели качества сточных вод, используемых на орошение (Охрана...)

Категория стоков	Использование стоков	Груп. населения, под-верг. опасности	Кишечные нематоды <sup>1</sup>	ФКФ <sup>2</sup> (бактер. норматив)
А	Для полива растений, употребляемых в сыром виде, спортивных площадок, парков	Рабочие, потребители, население	≤1	1000 <sup>3</sup>
Б	Для полива зерновых, кормовых культур, пастбищ, деревьев <sup>4</sup>	Рабочие	≤1	Стандарта нет
В	Для локализ. ирригац. растений по катег. Б, если нет опасности для рабочих и населения	Нет	Нет нормы	Нет нормы

**Примечания:**

1 — аскариды, власоглавы, анкилостомиды и другие гельминты (среднеарифметическое число яиц на 1 л);

2 — фекальные коли-формы (среднесуточное число на 100 мл) в течение периода орошения;

3 — более жесткие рекомендации (200 ФКФ на 100 мл) относятся к паркам, площадкам для гольфа, лужайкам, посещаемым людьми;

4 — при орошении фруктовых деревьев полив прекращается за 2 недели до сбора плодов. Последнее запрещается собирать с земли. Дождевание сточными водами не должно применяться.

Рассмотренные бактериальные нормативы относятся также и к качеству речной воды, используемой во многих странах без учета содержания возбудителей для неограниченного полива любых растений.

Относительно аквакультур имеются лишь ограниченные экспериментальные и полевые наблюдения за влиянием на здоровье человека рыбоводных прудов, удобряемых сточными водами. Рекомендованный предварительный бактериальный стандарт для них — средняя геометрическая количества ФКФ, равная  $10^3/100$  мл. Этот же стандарт необходимо применять к прудовой воде для выращивания растений, так как в некоторых зонах они используются в пищу в сыром виде.

Во многих странах за стандарт качества СВ приняты нормативы, установленные в Калифорнии (США) Госдепартаментом здравоохранения (Охрана...).

Разнообразное по характеру и сильное загрязнение сточных вод требует их очистки перед подачей на поля. Они, как правило, проходят предварительную подготовку на сооружениях механической или искусственной биологической очистки с последующей вторичной обработкой в стабилизационных биологических прудах. Если последняя оказывается недостаточной, то стоки после прудов дополнительно очищаются на песчаных фильтрах, включая скорые. По технико-экономическим соображениям пруды целесообразно применять для относительно небольших объемов жидкости (до 5-6 тыс. м<sup>3</sup>/сут.).

Конкретная схема обработки СВ в определенной степени определяется их категорией. Для категории А (табл. 12.2) предусматриваются серии стабилизационных прудов, обеспечивающие достижение бактериального норматива, или эквивалентная обработка. Для категории Б необходима 8-10-дневная выдержка в стабилизационных прудах или эквивалентное удаление патогенов. Для категории В достаточна обработка по технологии орошения с седиментацией осадка в первичных отстойниках.

В некоторых случаях сточные воды после очистки и до использования на сельскохозяйственных участках усредняют в прудах-накопителях или картах полей фильтрации.

Качество очистки вод в биопрудах, в соответствии с нормами Европейского Союза, должно составлять по БПК<sub>5</sub> 25 мг/л, по ХПК 125 мг/л (другие параметры не нормируются).

После той или иной подготовки СВ перекачивают по трубам на поля через распределительные устройства или накопители, расположенные в центре удобряемых участков.

Вместе с тем очистка и усреднение коммунальных стоков не обеспечивают полную безопасность их применения в сельскохозяйственных целях. Практика достаточно определенно выделила круг растений,

применительно к которым в первую очередь рационально орошение сточными водами.

В некоторых случаях бытовые стоки используют для полива цитрусовых, виноградников, отдельных видов овощей. Однако обычно на орошаемых полях выращивают кормовые и технические культуры, особенно многолетние и однолетние травы. При этом необходимо шире применять подпочвенное орошение, дождевание выполнять коротко- или среднеструйными низконапорными установками. Сбор урожая следует проводить не ранее чем через две недели после последнего полива. Для предупреждения заражения крупного рогатого скота (финнозом и т.п.) травы целесообразно перерабатывать на витаминную муку (*Саянин...*).

Вместе с тем следует отметить, что в нашей стране, где площади орошаемых сточными водами земель превышают 200 тыс. га, технология и культура их использования пока невысоки. В частности, «Санитарные правила устройства и эксплуатации земледельческих полей орошения» № 3236-85 и «Методические указания по осуществлению государственного санитарного надзора за устройством и эксплуатацией земледельческих полей орошения» № 4099-86 на местах не выполняются и, главное, не контролируются органами санэпиднадзора, что может иметь тяжелые последствия как для охраны окружающей среды, так и для здоровья населения (*Охрана...*).